

ESTUDIO DE GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA DEL DESLIZAMIENTO  
PRESENTE EN EL KM+18 DE LA VÍA BELÉN-PAZ DE RÍO EN EL  
DEPARTAMENTO DE BOYACÁ A ESCALA 1:2000

JHON ALEXANDER CHINOME MARTÍNEZ

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA “UPTC”

FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO

INGENIERÍA GEOLÓGICA

SOGAMOSO

AGOSTO 2018

ESTUDIO DE GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA DEL DESLIZAMIENTO  
PRESENTE EN EL KM+18 DE LA VÍA BELÉN-PAZ DE RÍO EN EL  
DEPARTAMENTO DE BOYACÁ A ESCALA 1:2000

JHON ALEXANDER CHINOME MARTÍNEZ

PROYECTO PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO

MODALIDAD DE PRÁCTICA EMPRESARIAL

DIRECTOR: Msc. INÉS VERGARA GÓMEZ

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA “UPTC”

FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO

INGENIERÍA GEOLÓGICA

SOGAMOSO

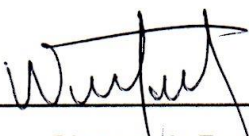
AGOSTO 2018

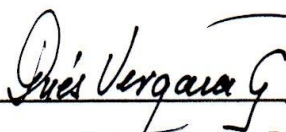
Nota de aceptación

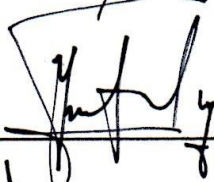
---


---

---

  
Director de Escuela

  
Director

  
Jurado

  
Jurado

## DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado primeramente a Dios quien es el que me ha dado la vida, es el guía y quien me bendice día a día dándome la fuerza y el conocimiento para culminar este proyecto y esta etapa de mi vida.

A mi padre Edilberto quien siempre me ha brindado todo lo bueno de él y las mejores enseñanzas de la vida, a mi madre Nelsy por ser quien siempre ha cuidado muy bien de mí y ha forjado el ser que soy hoy, por ser los que me han cuidado en los buenos y malos momentos y por ser el motor de mi vida, a mi hermana Ximena por ser ese ejemplo de lucha y dedicación para alcanzar los sueños y por darme esos dos sobrinos hermosos Jerónimo y Juanita que han llegado a alegrar la vida de toda la familia, a mi hermano Camilo por ser el ejemplo de superación y perseverancia, aconsejándome siempre de la mejor manera y ser mi compañero de aventuras, a ellos quienes han sido mi apoyo incondicional siempre, las palabras no alcanzan para agradecer todo lo que han hecho por mí. A mi novia Paty quien ha dado luz a mi vida, me ha sabido guiar y me ha dado todo su amor apoyándome en este camino. GRACIAS.



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitirme cumplir esta meta para mi vida, a mis padres por ser la inspiración para cumplir mis objetivos.

A mis compañeros de promoción quienes han sido de gran ayuda en cada etapa de esta carrera y a todos los maestros que me han brindado todo su conocimiento y con los cuales estoy inmensamente agradecido.

Al Ingeniero Gabriel Mojica por creer en mí y darme la oportunidad de realizar este proyecto brindándome todas las herramientas, información, consejos y por todas las enseñanzas, a la directora de este proyecto la Msc. Inés Vergara por su tiempo, dedicación, paciencia y por guiarme en esta etapa final de mi vida universitaria, al Msc. German Herrera por su ayuda en la elaboración de los mapas y por todas sus enseñanzas, al Ing. Estiven Torres por sus conocimientos y su contribución en el estudio, al Ing. Bryan Sanabria por su colaboración y asesoría, al Ing. Javier Fonseca por sus consejos y su colaboración y a todas las personas que con su granito de arena hicieron que este proyecto se realizara con éxito.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
1. GENERALIDADES .....	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.2 OBJETIVOS .....	2
1.2.1 Objetivo General .....	2
1.2.2 Objetivos Específicos .....	3
1.3 LOCALIZACIÓN .....	3
1.3.1 Vías de acceso .....	4
1.4 METODOLOGÍA .....	6
1.4.1 Etapa 1 .....	6
1.4.2 Etapa 2 .....	6
1.4.3 Etapa 3 .....	7
1.4.4 Etapa 4 .....	8
1.4.5 Etapa 5 .....	8
2. MARCO GEOLÓGICO .....	8
2.1 GEOLOGÍA REGIONAL .....	8
2.2 ESTRATIGRAFÍA .....	9
2.2.1 Formación Cataclasitas de Soapaga (D?cs) .....	9
2.2.1.1 Puntos de Control en Campo .....	10
2.2.2 Formación Girón (Jg) .....	16
2.2.2.1 Puntos de Control en Campo .....	17
2.2.3 Formación Concentración (Pgc) .....	19
2.2.3.1 Puntos de Control en Campo .....	20
2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	23
2.3.1 Falla de Soapaga .....	24
2.3.1.1 Delimitación de la Falla de Soapaga con apoyo de UAV en la Zona de Estudio .....	24
2.3.2 Mapa de Geología .....	30
2.4 GEOMORFOLOGÍA .....	31

2.4.1 Fases de elaboración del componente Geomorfológico .....	31
2.4.2 Interpretación de sensores remotos .....	31
2.4.3 Elementos Geomorfológicos .....	33
2.4.3.1 Morfometría .....	34
2.4.3.1.1 Rango de Pendientes .....	34
2.4.3.1.2 Rugosidad .....	36
2.4.3.1.3 Acuenca .....	37
2.4.3.1.4 Mapa total Morfométrico.....	39
2.4.3.2 Morfodinámica .....	39
2.4.3.2.1 Relieve Relativo .....	40
2.4.3.2.2 Inclinação de ladera .....	42
2.4.3.2.3 Mapa total de Morfodinámica .....	43
2.4.3.2.4 Inventario de Movimientos en Masa.....	44
2.4.3.3 Morfogénesis .....	44
2.4.3.3.1 Definición de ambientes Morfogenéticos.....	44
2.4.3.3.2 Mapa de ambientes Morfogenéticos .....	48
2.4.3.3.3 Geoformas de origen Denudacional.....	51
2.4.3.3.4 Geoformas de origen Antropogénico.....	55
2.4.3.3.5 Geoformas de origen Estructural .....	61
2.4.3.3.6 Geoformas de origen Fluvial .....	65
2.4.3.4 Mapa de amenaza relativa por ocurrencia de movimientos en masa .....	68
3. CARACTERIZACIÓN DEL DESLIZAMIENTO .....	70
3.1 NOMENCLATURA DE UN TALUD O LADERA.....	70
3.2 NOMENCLATURA DE LOS PROCESOS DE MOVIMIENTO .....	71
3.3 DIMENSIONES DE UN MOVIMIENTO.....	73
3.4 CLASIFICACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA .....	74
3.5 CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO.....	76
3.5.1 Tipo de Material.....	76
3.5.2 Humedad.....	78
3.5.3 Secuencia de Repetición.....	78
3.5.4 Velocidad del Movimiento .....	80
3.5.5 Estilo .....	81

3.5.6 Estado de actividad .....	83
3.5.7 Estructura Geológica.....	85
3.6 MECANISMO DE FALLA .....	92
3.7 ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO.....	95
CONCLUSIONES.....	101
RECOMENDACIONES .....	103
BIBLIOGRAFÍA .....	104
ANEXOS .....	106

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Coordenadas de localización del área de estudio.....	3
<b>Tabla 2.</b> Detalle de sitios de control en campo con coordenadas origen Bogotá....	7
<b>Tabla 3.</b> Principales formaciones Geológicas a nivel regional .....	8
<b>Tabla 4.</b> Rangos de pendiente utilizados con propósitos de análisis de ingeniería y zonificación de amenazas por movimientos en masa .....	35
<b>Tabla 5.</b> Rangos de clasificación susceptibilidad de la Rugosidad .....	36
<b>Tabla 6.</b> Rangos de clasificación del atributo Acuenca .....	38
<b>Tabla 7.</b> Rangos de clasificación del atributo Relieve Relativo .....	41
<b>Tabla 8.</b> Calificación de la inclinación de la ladera.....	42
<b>Tabla 9.</b> Descripción de ambientes Morfogenéticos .....	45
<b>Tabla 10.</b> Ambientes Morfogenéticos presentes en la zona de estudio .....	49
<b>Tabla 11.</b> Elementos de ambiente denudacional .....	51
<b>Tabla 12.</b> Elementos de ambiente Antropogénico .....	56
<b>Tabla 13.</b> Elementos de ambiente Estructural .....	62
<b>Tabla 14.</b> Elementos de ambiente Fluvial .....	66
<b>Tabla 15.</b> Categorías de amenaza relativa por ocurrencia de movimientos en masa .....	68
<b>Tabla 16.</b> Velocidad de los movimientos (Adaptado de Cruden, Varnes - 1996) ..	81

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> Localización del municipio de Paz de Rio .....	4
<b>Ilustración 2.</b> Ruta Sogamoso-Belén-Paz de Rio.....	5
<b>Ilustración 3.</b> Ruta Sogamoso-Tasco-Paz de Rio .....	6
<b>Ilustración 4.</b> Geología regional de la zona de estudio .....	9
<b>Ilustración 5.</b> Mapa de Geología de la zona de estudio .....	30
<b>Ilustración 6.</b> Imagen pancromática utilizada para hacer la fotointerpretación a escala 1:2000 .....	32
<b>Ilustración 7.</b> Fotointerpretación realizada en la zona de estudio a escala 1.2000 .....	33
<b>Ilustración 8.</b> Porcentajes de los parámetros que componen la Morfometría .....	34
<b>Ilustración 9.</b> Mapa de pendientes .....	35
<b>Ilustración 10.</b> Mapa de Rugosidad .....	37
<b>Ilustración 11.</b> Mapa de Acuenca .....	38
<b>Ilustración 12.</b> Mapa total Morfométrico.....	39
<b>Ilustración 13.</b> Proceso metodológico en la construcción del atributo morfodinámico.....	40
<b>Ilustración 14.</b> Mapa de Relieve Relativo.....	41
<b>Ilustración 15.</b> Mapa de Inclinación de ladera.....	43

<b>Ilustración 16.</b> Mapa total Morfodinámico .....	44
<b>Ilustración 17.</b> Esquema de jerarquización geomorfológica propuesta para el SGC.....	47
<b>Ilustración 18.</b> Mapa de ambientes Morfogenéticos .....	49
<b>Ilustración 19.</b> Distribución de ambientes Morfogenéticos en la zona de estudio	50
<b>Ilustración 20.</b> Mapa de elementos Morfogenéticos .....	50
<b>Ilustración 21.</b> Distribución de elementos del ambiente denudacional .....	52
<b>Ilustración 22.</b> Mapa de elementos del ambiente denudacional .....	52
<b>Ilustración 23.</b> Distribución de elementos de ambiente Antropogénico .....	56
<b>Ilustración 24.</b> Mapa de elementos de ambiente Antropogénico .....	57
<b>Ilustración 25.</b> Distribución de elementos ambiente Estructural .....	62
<b>Ilustración 26.</b> Mapa de elementos de ambiente Estructural .....	63
<b>Ilustración 27.</b> Mapa de elementos de ambiente Fluvial .....	66
<b>Ilustración 28.</b> Mapa de amenaza relativa por ocurrencia de Movimientos en Masa.....	69
<b>Ilustración 29.</b> Nomenclatura de un talud .....	70
<b>Ilustración 30.</b> Nomenclatura de un deslizamiento .....	71
<b>Ilustración 31.</b> Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG ...	74
<b>Ilustración 32.</b> Deslizamiento traslacional.....	75
<b>Ilustración 33.</b> Deslizamiento traslacional en la zona de estudio .....	76
<b>Ilustración 34.</b> Clasificación de secuencia de repetición.....	79
<b>Ilustración 35.</b> Clasificación de estilo.....	82
<b>Ilustración 36.</b> Clasificación estado de actividad .....	84
<b>Ilustración 37.</b> Perfil de meteorización en materiales metamórficos .....	87
<b>Ilustración 38.</b> Equilibrio o desequilibrio de fuerzas de un talud. ....	92
<b>Ilustración 39.</b> Mapa de drenajes.....	94
<b>Ilustración 40.</b> Mapa de Sismicidad en la zona de estudio .....	95
<b>Ilustración 41.</b> La saturación del perfil de suelo puede activar el deslizamiento ..	99

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1.</b> Afloramiento Formación Cataclasitas de Soapaga (E: 1'144.561 - N: 1'157.863) .....	11
<b>Fotografía 2.</b> Afloramiento Formación Cataclasitas de Soapaga (E: 1'143.846 – N: 1'157.821) .....	12
<b>Fotografía 3.</b> Espejo de falla Formación Cataclasitas de Soapaga (E: 1'143.846 – N: 1'157.821).....	13
<b>Fotografía 4.</b> Movimiento en masa presente en la Formación Cataclasitas de Soapaga (E: 1'143.689 – N: 1'157.852) .....	14
<b>Fotografía 5.</b> Afloramiento Cataclasitas de Soapaga en la zona del deslizamiento (E:1'144.693 – N: 1'157.889).....	15
<b>Fotografía 6.</b> Afloramiento Formación Girón (E: 1'144.606 – N: 1'157.858).....	17
<b>Fotografía 7.</b> Contacto Formación Cataclasitas de Soapaga y Formación Girón (E: 1'143.451 – N: 1'158.145) .....	18
<b>Fotografía 8.</b> Afloramiento Formación Girón (E: 1'143.451 – N: 1'158.145).....	19
<b>Fotografía 9.</b> Afloramiento Formación Concentración (E:1'145.110 – N: 1'158.287) .....	21
<b>Fotografía 10.</b> Afloramiento Formación Concentración (E: 1'145.117 – N: 1'157.911) .....	22
<b>Fotografía 11.</b> Movimientos en masa en la Formación Concentración (E: 1'145.081 – N: 1'158.098) .....	23
<b>Fotografía 12.</b> UAV utilizado para la toma de fotografías en campo .....	25
<b>Fotografía 13.</b> Falla de Soapaga en la zona de estudio vista frontal.....	26
<b>Fotografía 14.</b> Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional en la zona de estudio .....	53
<b>Fotografía 15.</b> Ladera erosiva en la zona de estudio .....	54
<b>Fotografía 16.</b> Ladera ondulada en la zona de estudio .....	55
<b>Fotografía 17.</b> Canteras en la zona de estudio .....	58
<b>Fotografía 18.</b> Espolones en la zona de estudio .....	59
<b>Fotografía 19.</b> Superficies de explanación en la zona de estudio .....	60
<b>Fotografía 20.</b> Terrazas agrícolas en la zona de estudio .....	61
<b>Fotografía 21.</b> Ladera estructural en la zona de estudio .....	64
<b>Fotografía 22.</b> Escarpe de línea de falla en la zona de estudio.....	65
<b>Fotografía 23.</b> Cauce aluvial en la zona de estudio .....	67
<b>Fotografía 24.</b> Tipo de material presente en el deslizamiento.....	77
<b>Fotografía 25.</b> Deslizamiento progresivo en la zona de estudio .....	80
<b>Fotografía 26.</b> Deslizamiento compuesto en la zona de estudio .....	83
<b>Fotografía 27.</b> Estado de actividad del deslizamiento .....	85
<b>Fotografía 28.</b> Zona I-A del perfil de meteorización en la zona del deslizamiento	88
<b>Fotografía 29.</b> Zona I-B del perfil de meteorización en la zona del deslizamiento	88
<b>Fotografía 30.</b> Zona I-C del perfil de meteorización en la zona del deslizamiento	89

<b>Fotografía 31.</b> Zona II-A del perfil de meteorización en la zona del deslizamiento .....	90
<b>Fotografía 32.</b> Zona II-A del perfil de meteorización en la zona del deslizamiento .....	90
<b>Fotografía 33.</b> Zona III del perfil de meteorización en la zona del deslizamiento .	91
<b>Fotografía 34.</b> Vegetación en el talud del área de estudio .....	96
<b>Fotografía 35.</b> Tala de árboles en el talud.....	97
<b>Fotografía 36.</b> Quema de pastos en la zona del talud.....	97
<b>Fotografía 37.</b> Simulación del deslizamiento en la zona de estudio .....	100

## **LISTA DE ANEXOS**

<b>Anexo 1.</b> Formato Modificado para Inventario de Movimientos en Masa.....	106
--	-----



## INTRODUCCIÓN

En un país montañoso como Colombia es muy usual enfrentar problemas de inestabilidad de laderas y taludes, dado que desde la época de la colonia se ha venido afectando drásticamente el equilibrio natural con la tala inmisericorde de bosques, unido al uso inadecuado del suelo, y a la necesidad de hacer cortes y terraplenes por toda la topografía nacional en desarrollo de obras de infraestructura y vías de comunicación (Nebardo A. Abril, 2013).

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares al año (Brabb-1989); sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia. El 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención y control (Jaime S. Díaz, 1998).

El decreto 1807 de 2014 establece como determinantes de superior jerarquía, que los municipios y distritos deben tener en cuenta en la elaboración y adopción de los planes de ordenamiento territorial, las relacionadas con la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales y la prevención de amenazas y riesgos naturales, así como las políticas, directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos naturales, el señalamiento y localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos y las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos, previstas en el artículo 10 de la Ley 388 de 1997 (Decreto Número 1807 del 14 de Septiembre de 2014 Nivel Nacional).

El proyecto determina el componente geológico, geomorfológico y geotécnico en el área del deslizamiento ubicado en el kilómetro +18 de la vía Belén-Paz de Río el cual tiene un área aproximada de 13 Ha y genera en esta zona de inestabilidad una amenaza a esta importante vía de comunicación entre los municipios de la región, algunas viviendas que se encuentran a un costado de esta y el Río Soapaga que se encuentra a menos de 100 metros del deslizamiento.

El análisis por susceptibilidad de movimientos en masa utiliza la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano y fue la base para conocer la susceptibilidad por deslizamiento de esta zona. Como factores condicionantes se consideran los relacionados con las características geológicas, geomorfológicas, geotécnicas de las laderas y los factores directamente relacionados con la intervención antrópica, mientras que los detonantes se relacionan con las precipitaciones y sismos los cuales pueden modificar las condiciones de estabilidad de una ladera.

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la vía Belén-Paz de Río en el kilómetro 18 franja occidental, se presenta un deslizamiento que afecta la infraestructura vial del sector, la movilidad del transporte público, transporte de carga y particular, el desarrollo económico de la región al igual que la estabilidad en general de la vereda Soapaga; además de estas afectaciones a la infraestructura, la mayor amenaza constituye la posible caída de material sobre la vía y algunas viviendas que se encuentran en el margen derecho de esta poniendo en riesgo la vida de las familias y personas que transitan en sus vehículos, así como también por su cercanía al Río Soapaga este se ve amenazado ante un posible represamiento de sus aguas que afectaría a todas las familias y cultivos que están situados a lo largo de la rivera de este importante río.

Dentro de la evaluación preliminar de la amenaza por movimientos en masa, la primera parte la constituye la realización del estudio de Geología para Ingeniería, como elemento de juicio técnico clave en la toma de decisiones; el estudio integra diferentes áreas del conocimiento como la geología, la geomorfología y geotécnica apoyados en herramientas como la fotointerpretación, sistemas de información geográfica (SIG) y tecnologías UAV (Drones).

Por esta razón, el presente proyecto realiza el estudio de Geología para Ingeniería para el deslizamiento localizado en el kilómetro 18 de la vía Belén-Paz de Río con el fin de aumentar el conocimiento de las variables que inciden en este movimiento en masa, mediante una metodología clara que permita establecer la línea base de la evaluación de la amenaza y la toma de decisiones apropiadas para su gestión.

### **1.2 OBJETIVOS**

#### **1.2.1 Objetivo General**

Elaborar el estudio de Geología para Ingeniería, como insumo para la evaluación de amenaza por deslizamiento en el kilómetro 18 de la vía Belén-Paz de Río.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las formaciones geológicas presentes en el área de estudio.
- Evaluar el deslizamiento y los mecanismos de falla en el área del movimiento.
- Generar mapas temáticos mediante el uso de un SIG basado en modelos digitales de elevación y fotogrametría hecha con AUV (Aeronaves no tripuladas).

### 1.3 LOCALIZACIÓN

El área comprendida de estudio se encuentra localizada en el municipio de Paz de Río en la vereda Soapaga ubicado en la provincia de Valderrama al nororiente del departamento de Boyacá. El municipio limita al norte con los municipios de Sátiva Norte y Sátiva Sur; al sur con los municipios de Beteitiva y Tasco; al oriente con el municipio de Sátiva Sur y Socha y al occidente con el municipio de Belén y Tutazá. Está ubicado en la región Centro Oriente de la Republica de Colombia sobre la Cordillera Oriental de macizo. Su jurisdicción urbana está en las coordenadas planas X = 1153.450 Norte; Y = 1146.600 Este, con una altura de 2200 m.s.n.m y una temperatura media de 15°C. Dista a 108 Km de Tunja la capital del departamento. (*Municipio de Paz de Río, 2016*)

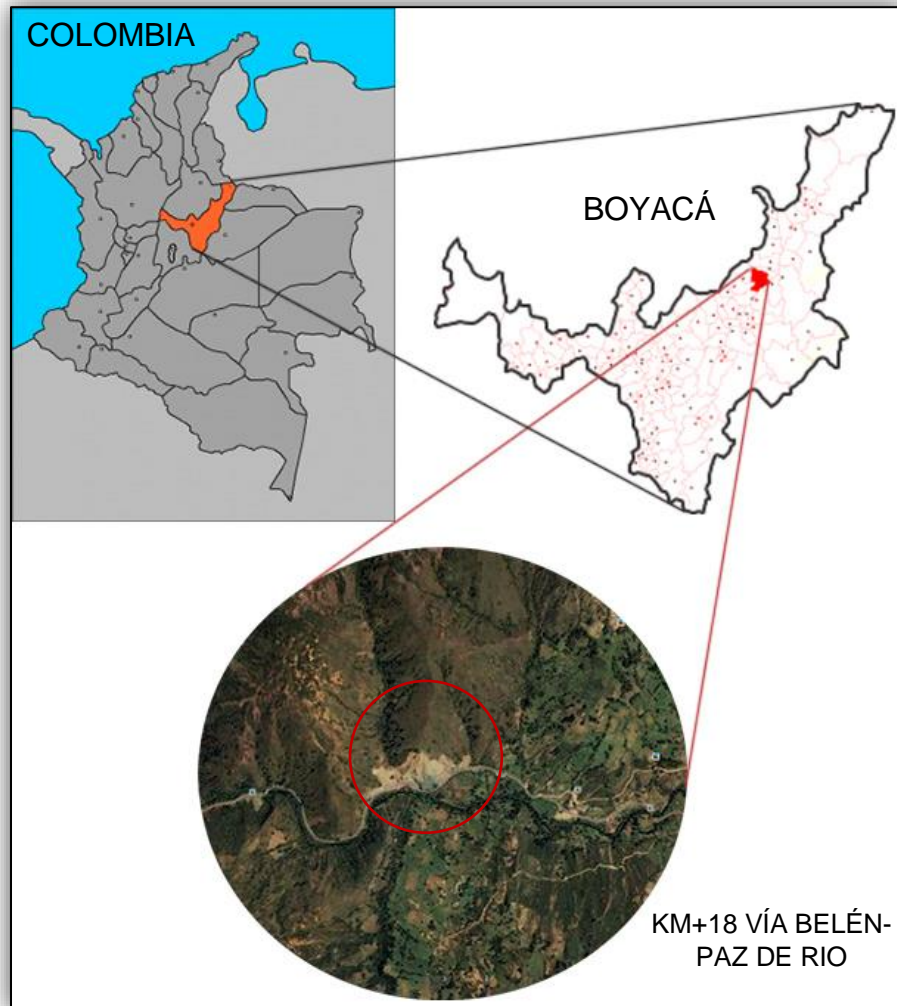
Los vértices de la poligonal del área de estudio se presentan en la siguiente tabla con coordenadas planas origen Magna Bogotá.

**Tabla 1.** Coordenadas de localización del área de estudio

	ESTE	NORTE
1	1143400	1158300
2	1145200	1158300
3	1143400	1157700
4	1145200	1157700

**Fuente:** Autor

**Ilustración 1.** Localización del municipio de Paz de Río



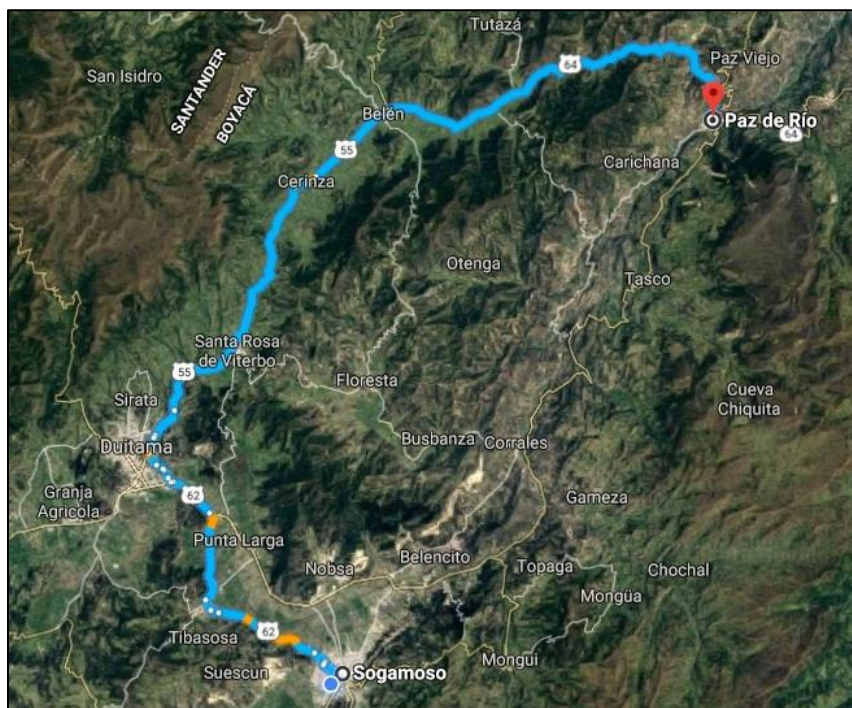
**Fuente:** Autor

### 1.3.1 Vías de acceso

Existen dos vías de acceso al deslizamiento: Una que parte de la ciudad de Duitama, totalmente pavimentada, salvo algunos baches causados por derrumbes ocasionados en temporadas de lluvias, pero totalmente transitables. Transcurre por Santa Rosa de Viterbo, Cerinza y Belén, luego se recorren 18 km por la vía a Paz de Río y es donde está ubicado el deslizamiento (**Ver Ilustración 2**). Otra vía es la que parte de la ciudad de Sogamoso, y discurre por carretera parcialmente pavimentada por los municipios de Corrales y Tasco, hasta el municipio de Paz de Río y luego hacia la vía que conduce a Belén durante 7 km (**Ver Ilustración 3**).

En caso de ocurrir un deslizamiento en el Km +18 de la Vía Belén-Paz de Río los habitantes del municipio de Paz de Río que requieran desplazarse a municipios como Belén, Santa Rosa o Duitama tendrían que ir hasta el municipio de Sogamoso y tomar la vía Sogamoso-Duitama y luego continuar hacia dichas poblaciones. De la misma manera los habitantes de Belén, Santa Rosa, Tutazá que quieran ir al municipio de Paz de Río deberán ir hasta Sogamoso y tomar la vía hacia Corrales, Tasco y finalmente Paz de Río aumentando el recorrido en 70 kilómetros aproximadamente.

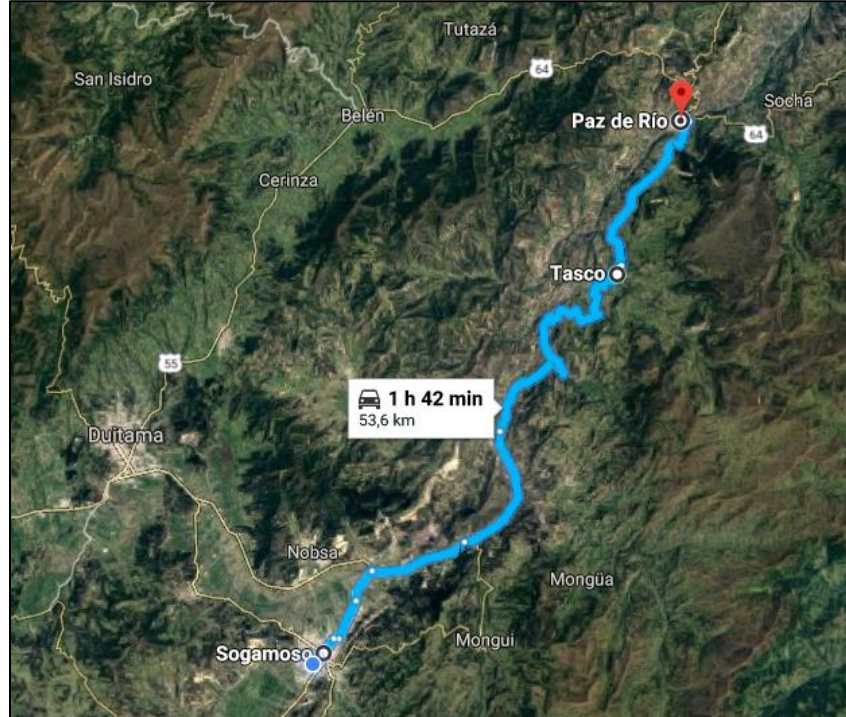
**Ilustración 2.** Ruta Sogamoso-Belén-Paz de Río



**Fuente:** Google Maps



**Ilustración 3.** Ruta Sogamoso-Tasco-Paz de Río



**Fuente:** Google Maps

## **1.4 METODOLOGÍA**

El desarrollo del proyecto incluyó cinco etapas las cuales se realizaron en el orden que se muestra a continuación, apoyado con la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa del Servicio Geológico Colombiano.

### **1.4.1 Etapa 1**

Recopilación y análisis de la información de referencia disponible como planos e informes geológicos, bases cartográficas e informes técnicos de otros estudios llevados a cabo en el área.

### **1.4.2 Etapa 2**

La ejecución de la actividad en campo consistió principalmente en el levantamiento geológico, geomorfológico y estructural detallado a partir de diferentes estaciones de campo. El posicionamiento geográfico de las estaciones de campo se efectuó mediante GPS con el objeto de lograr un mayor grado de precisión en la cartografía

de unidades y estructuras geológicas, como el uso de UAV (Dron) como apoyo para obtener imágenes con información geológica y estructural.

**Tabla 2.** Detalle de sitios de control en campo con coordenadas origen Bogotá

Punto de Control	Coordenadas	
	E	N
1	1144638	1157775
2	1144606	1157858
3	1144561	1157863
4	1143846	1157821
5	1143451	1158145
6	1144693	1157889
7	1145117	1157911
8	1145081	1158098
9	1145110	1158287

**Fuente:** Autor

### 1.4.3 Etapa 3

Procesamiento de la información geológica, geomorfológica y estructural tomada en campo.

Generación de mapas base, implementación de SIG (Sistemas de Información Geográfica). Para el procesamiento de estos datos se utilizó el software ArcGis 10.3.

La topografía del área de estudio se realizó por medio de UAV (Dron) y puntos de RTK (Real Time Kinematic) debido a las condiciones particulares del área de estudio tales como la inclinación de más de 45°, luego estos datos obtenidos son procesados en el software Pix4D para tener las curvas de nivel de la zona y se genera un modelo digital de elevación del terreno (DEM) el cual es el insumo principal para crear el mapa índice de pendientes.

Con los datos de campo y las capas temáticas se realizarán los siguientes mapas temáticos:

- Mapa geológico de la zona
- Mapa de pendientes
- Mapa geomorfológico
- Mapa de drenaje

- Mapa de sismicidad

El mapa de sismicidad se obtiene de la página oficial del Servicio Geológico Colombiano.

#### 1.4.4 Etapa 4

Luego de obtener los mapas temáticos se realiza la caracterización del deslizamiento, su geometría y análisis del movimiento en masa con la información recolectada en campo y con las imágenes aéreas tomadas con UAV.

#### 1.4.5 Etapa 5

Generación de los mapas finales y elaboración de informe final.

## 2. MARCO GEOLÓGICO

### 2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El área de trabajo está localizada en el centro Oriente Colombiano, donde se encuentran grandes rasgos geomorfológicos tales como la Cordillera Oriental y altiplanos, en estos rasgos geomorfológicos afloran rocas de los cinco conjuntos principales que dividen la secuencia estratigráfica de esta región como lo son el Basamento Cristalino, Serie del Paleozoico Superior, Serie Molásica Mesozóica, Serie Cretácico-terciaria, Depósitos Post-andinos.

**Tabla 3.** Principales formaciones Geológicas a nivel regional

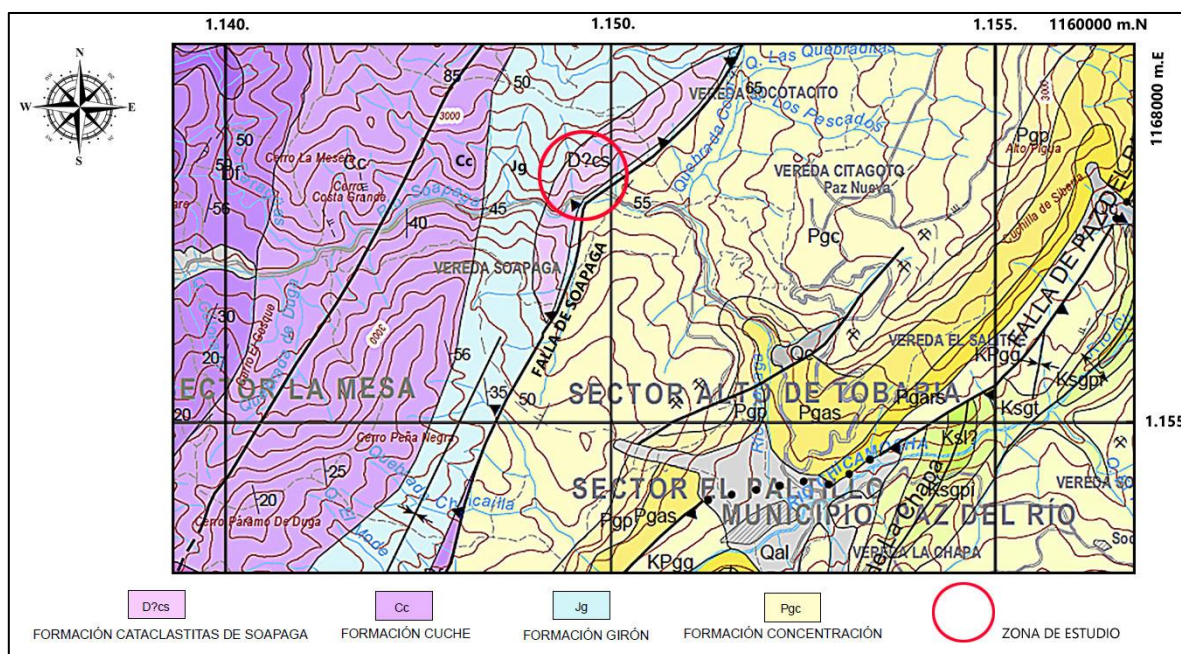
GEOLOGÍA REGIONAL PRINCIPALES UNIDADES			
EDAD	NOMBRE	SIMBOLO	DESCRIPCION
Paleozoico	Formación Cataclasitas de Soapaga	D?cs	Granitos brechados
Jurásico	Formación Girón	Jg	Areniscas, limolitas rojas y conglomerados
Paleógeno	Formación Concentración	Pgc	Arcillolitas yesíferas y areniscas de grano fino a grueso con estratos de hierro oolítico

**Fuente:** Autor



Las principales formaciones geológicas aflorantes en la vía Belén-Paz de Río Km+18 corresponden a las Cataclasitas de Soapaga (D?cs) las cuales están cabalgando a la parte superior de la Formación Concentración y cubiertas de forma discordante por los conglomerados de la Formación Girón esto debido a la acción de la Falla de Soapaga poniendo en contacto rocas del Paleozoico con el Paleógeno. La zona de estudio está representada en el mapa de geología regional a escala 1:100.000 (*Plancha 172 Servicio Geológico Colombiano*), con un círculo rojo, donde se observan las formaciones presentes a su alrededor. **Ver ilustración 4.**

**Ilustración 4.** Geología regional de la zona de estudio



**Fuente:** Plancha 172 a escala 1:100000 Servicio Geológico Colombiano. Edición autor

## 2.2 ESTRATIGRAFÍA

### 2.2.1 Formación Cataclasitas de Soapaga (D?cs)

Se emplea el nombre de Cataclasitas de Soapaga para designar un conjunto de granitos brechados que afloran en una franja de 5 km de largo por 1 a 2 km de ancho, por la carretera Belén - Paz de Río (Plancha 172). Las rocas de esta unidad, macroscópicamente, son de tonos verdes, lustrosas e intensamente fracturadas; en algunos afloramientos presentan textura néisica, cataclástica, brechoide y

milonítica, romboclivaje, intercrecimientos de clorita y biotita, cristales rotados, doblados y microfallas con desplazamiento variable. En algunos sectores, las cataclasitas parecen estar intruidas por granitos.

La composición de esta unidad, con base en el análisis petrográfico de ocho secciones delgadas, corresponde a granito o granodiorita, con cuarzo, albita, ortoclasa (con texturas peritéticas), microclina y minerales de alteración de clorita (a partir de biotita), moscovita y sericita, principalmente. Otros sectores de la formación incluyen rocas metasedimentarias.

Las cataclasitas se observan cabalgando a la parte superior de la Formación Concentración y cubiertas de forma discordante por los conglomerados de la Formación Girón. La edad de este conjunto es desconocida, solamente se propone que fue afectada por metamorfismo dinámico antes del Jurásico, probablemente en el Devónico (*Geología de la plancha 172 Paz de Río, 2001*).

#### **2.2.1.1 Puntos de Control en Campo**

##### **Punto 1**

La unidad presente en campo se encuentra en el margen derecho del río Soapaga y se observa una roca muy fracturada compuesta de abundante cuarzo, ortoclasa, biotita y clorita, es una roca muy dura y presenta meteorización media. **Ver Fotografía 1.**



**Fotografía 1.** Afloramiento Formación Cataclasitas de Soapaga (E: 1°144.561 - N: 1°157.863)



**Fuente:** Autor



## Punto 2

**Fotografía 2.** Afloramiento Formación Cataclasitas de Soapaga (E: 1'143.846 – N: 1'157.821)



**Fuente:** Autor

En este afloramiento se observa una roca muy meteorizada y bastante frágil, alterada de color verdoso y marrón, bastante material suelto y rodado.

Es frecuente observar dentro de las rocas expuestas espejos de falla y micropliegues indicadores de que han estado sometidas a esfuerzos compresivos durante su actividad. **Ver fotografía 3.**



**Fotografía 3.** Espejo de falla Formación Cataclasitas de Soapaga (E: 1°143.846 – N: 1°157.821)

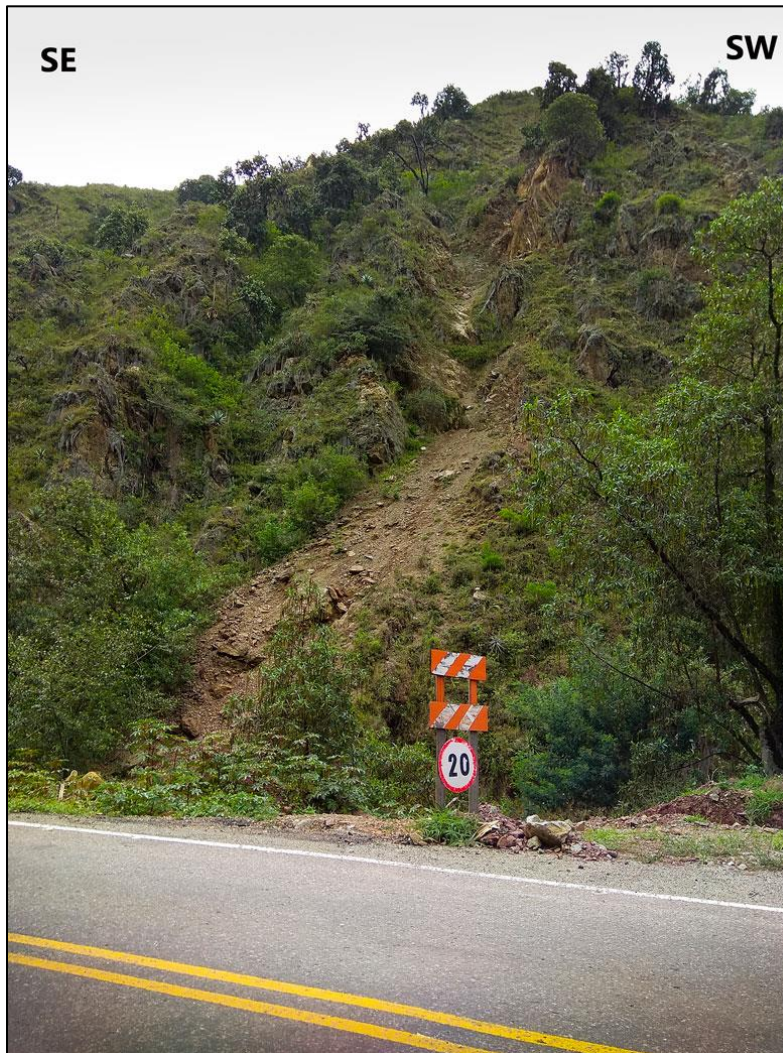


**Fuente:** Autor

### **Punto 3**

El fracturamiento observado en las rocas de la formación Cataclasitas de Soapaga (Dc?s) y los procesos de meteorización y erosión a los que están sometidas, reduce la consistencia de las masas pétreas y facilita los procesos de movimientos en masa como los deslizamientos los cuales son comúnmente vistos en esta zona.

**Fotografía 4.** Movimiento en masa presente en la Formación Cataclasitas de Soapaga (E: 1'143.689 – N: 1'157.852)



**Fuente:** Autor

#### **Punto 4**

Este punto de control que se encuentra en el costado occidental de la vía hace parte del macizo rocoso que no ha sido afectado en la zona del deslizamiento esto debido a que la foliación de la roca está en contra de la pendiente actuando de barrera y evitando que se deslice material de la parte media y superior del deslizamiento, es una roca dura muy fracturada de color verdoso y amarillo crema. **Ver fotografía 5.**



**Fotografía 5.** Afloramiento Cataclasitas de Soapaga en la zona del deslizamiento (E:1°144.693 – N: 1°157.889)



**Fuente:** Autor

La Formación Cataclasitas de Soapaga (Dc?s) es la formación de mayor interés en este proyecto debido a que el deslizamiento afecta en su totalidad a las rocas de dicha formación.

### **2.2.2 Formación Girón (Jg)**

Este término Girón fue creado por Hettner (1892), bajo la denominación de Series del Girón, para designar a una sucesión de areniscas, limolitas rojas y conglomerados, que se hallan expuestas al oeste de Bucaramanga, cuya edad se consideró inicialmente del Cretácico. Actualmente, la denominación original de Hettner incluye las formaciones Bocas, Jordán, Girón y Tambor. Cediél (1968) le asigna formalmente el rango de grupo, denomina su parte inferior como Formación Girón y la parte superior, como Formación Los Santos. La Formación Girón, en la Plancha 172 Paz de Río, aflora en dos franjas alargadas localizadas al oriente y al occidente del Macizo de Floresta; la oriental es de 37 km de largo por 2 a 3 km de ancho y otra occidental, de 7 km de largo por 0,5 km de ancho. La franja oriental de esta unidad litoestratigráfica presenta una morfología escarpada, que contrasta con la de colinas suaves de la Formación Concentración, en el lado oriental, y colinas onduladas de las formaciones Cucho y Floresta, en el lado occidental.

Por el sector de la carretera Belén - Paz de Río, a la Formación Girón se le ha calculado, mediante cortes geológicos, un espesor que varía entre 800 y 1.000 m. Está constituida, en su parte basal, por una sucesión de conglomerados formados por bloques, guijos y guijarros de cuarcitas, arenitas, limolitas moradas y cuarzo, principalmente; localmente, se observaron guijarros de granito, en una matriz arenosa limolítica; la parte media está compuesta por arenitas y conglomerados, y la superior, por una alternancia de arenitas, conglomerados y limolitas de colores morados, a verde morados. Muestras de arenitas de la parte media a superior de la Formación Girón muestran que el principal componente es el cuarzo, el cual varía entre 50 y 80% y, en menor proporción, fragmentos de roca, representados por arenita, arcillolita, chert y en cantidad aun inferior, feldespatos potásicos.

La Formación Girón descansa discordantemente sobre el Stock de Otengá, sobre la Formación Cataclasitas de Soapaga y sobre la Formación Cucho. Por la vía que conduce de Nobsa a Floresta y que pasa por Corrales, se observa a la Formación Tibasosa que descansa discordantemente sobre la Formación Girón, relación que se mantiene en el área de la Plancha 172 Paz de Río. La discordancia permite colocar en contacto a la Formación Tibasosa con segmentos cada vez más inferiores de la Formación Girón de oriente a occidente. Teniendo en cuenta la posición estratigráfica de la Formación Girón, que descansa sobre la Formación Cucho y está cubierta por la Formación Tibasosa, su edad se considera Jurásica, correlacionable con la secuencia denominada Girón, en el área de Santander, según



Rabe (1977), como de finales del Jurásico, y según Pons (1982), de finales del Jurásico a principios del Cretácico.

Según las características litológicas que presenta la Formación Girón en el área de la Plancha 172 Paz de Río, se puede inferir un ambiente de alta energía, en donde el agente de transporte permitió el redondeamiento de los cantos y su soporte en una matriz areno limosa roja, condiciones posibles en zonas de depósito adyacentes a abanicos de piedemonte. (*Geología de la plancha 172 Paz de Río, 2001*).

### 2.2.2.1 Puntos de Control en Campo

#### Punto 1

**Fotografía 6.** Afloramiento Formación Girón (E: 1'144.606 – N: 1'157.858)



**Fuente:** Autor



En este afloramiento se observa la Formación Girón la cual está compuesta por rocas de color rojo violáceo con cantos metamórficos, areniscas y cantos subredondeados por el transporte fluvial, dicha formación está cubierta por depósitos aluviales, un suelo arenoso con clastos de cuarzo de grano grueso a muy grueso de color amarillo.

## Punto 2

**Fotografía 7.** Contacto Formación Cataclasitas de Soapaga y Formación Girón (E: 1'143.451 – N: 1'158.145)



Fuente: Autor

En este punto se observa sobre el costado oriental de la vía Belén-Paz de Río el contacto discordante de la Formación Cataclasitas de Soapaga (D?cs) y la Formación Girón (Jg).

A continuación, se ven las rocas de la Formación Girón donde se identifican los conglomerados de su parte basal, cantos de gran tamaño y algunas intercalaciones de areniscas y arcillolitas de un característico color rojo violáceo lo cual es de gran ayuda para su fácil identificación en campo. **Ver fotografía 8.**

**Fotografía 8.** Afloramiento Formación Girón (E: 1'143.451 – N: 1'158.145)



**Fuente:** Autor

### **2.2.3 Formación Concentración (Pgc)**

El nombre y rango de la unidad litoestratigráfica Formación Concentración fueron dados por Alvarado & Sarmiento (1944), para designar una sucesión de arcillolitas comúnmente yesíferas y areniscas de grano fino a grueso, con estratos de hierro oolítico, que descansa sobre la Formación Picacho. Su sección tipo está localizada a lo largo del río Soapaga, entre el caserío de Concentración y el puente del Uvo (carretera Santa Rosa - Paz de Río - Socha), donde presenta un espesor que oscila entre 1.368 y 1.554 m.



Basado en la sucesión litológica medida en la carretera Paz de Río - Cerinza, la Formación Concentración puede dividirse en varios conjuntos. Uno inferior de 350,15 m de espesor, constituido por una sucesión de capas de arcillolitas grises oscuras y negras, que por meteorización presentan coloraciones amarillentas y rojizas, estratificadas en capas muy delgadas, con varios estratos de hierro oolítico hacia la parte inferior y media de 0,30 a 2,50 m de espesor y frecuentes intercalaciones de cuarzoarenitas de grano fino a medio y localmente grueso, con matriz arcillosa, y espesores que oscilan entre 0,20 y 8 m, estratificadas en capas delgadas a muy gruesas. Un conjunto medio, de 166,80 m de espesor, que consiste predominantemente de arcillolitas grises claras, que por meteorización dan tonalidades amarillentas y rojizas, con varias capas de hierro limonítico de 0,20 m de espesor y escasas intercalaciones de cuarzoarenitas de grano fino, grises amarillentas, friables, con espesores entre 0,80 y 1 m, estratificadas en capas medias y gruesas. El conjunto superior de 945,50 m de espesor, consta de una sucesión de arcillolitas grises claras a oscuras, que meteorizan a amarillentas y rojizas, estratificadas en capas delgadas, con intercalaciones de capas de hierro limonítico hacia la parte inferior de 0,20 m de espesor y laminillas de yeso de 1 cm de espesor hacia la parte media, e intercalaciones frecuentes de cuarzoarenita de grano fino a medio, en lentes hacia la parte inferior y media, con espesores que oscilan desde capa delgada hasta muy gruesa, de cuarzoarenitas de grano grueso a conglomerático y fragmentos de roca. La Formación Concentración en esta localidad presenta un espesor total de 1.462,45 m. Basado en el contenido de polen encontrado en varios horizontes de la Formación Concentración, van der Hammen (1957) la asigna al Eoceno medio a Oligoceno medio, y establece su correlación, con excepción de la parte inferior, con las formaciones San Fernando y Diablo del Borde Llanero y Carbonera de la cuenca del Maracaibo. (*Geología de la plancha 172 Paz de Río, 2001*).

### **2.2.3.1 Puntos de Control en Campo**

#### **Punto 1**

Se observa una arenisca de grano medio de color amarillo que presenta estratificación plana con una capa delgada de arcillolita negra fisible.

**Fotografía 9.** Afloramiento Formación Concentración (E:1'145.110 – N: 1'158.287)



**Fuente:** Autor

## **Punto 2**

En este afloramiento se observa una arenisca de grano fino de color gris con una capa infrayacente de arcillolitas abigarradas de 1.5 m de espesor seguido de un paquete de arcillas plásticas de color rojizo.



**Fotografía 10.** Afloramiento Formación Concentración (E: 1'145.117 – N: 1'157.911)



**Fuente:** Autor

### **Punto 3**

Este punto se encuentra sobre una vía terciaria en donde afloran areniscas de grano medio cubiertas por un suelo areno arcilloso usado principalmente para la ganadería y cultivos, hay evidencia de movimientos en masa en todo este sector, reptación, deslizamientos, esto debido a que la falla de Soapaga pasa por esta zona y genera un área de debilidad e inestabilidad en el terreno.

**Fotografía 11.** Movimientos en masa en la Formación Concentración (E: 1'145.081 – N: 1'158.098)



**Fuente:** Autor

## 2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En términos generales, hay que considerar dos distintas provincias tectónicas en la región:

- El Macizo de Floresta, que corresponde a una zona compleja levanta.
- La cobertera plegada, formada por la serie sedimentaria neocretácico-terciaria.

Las dos provincias están separadas por la falla de Soapaga, que representa un límite tectónico y geomorfológico de gran importancia (*Italo Reyes Chittaro, 1984*).



### 2.3.1 Falla de Soapaga

Esta gran falla separa dos regiones con un estilo morfoestructural muy diferente y es evidente su influencia en la facies de los depósitos sedimentarios por lo menos durante el Terciario.

En el valle de Sogamoso la falla lleva una dirección NE-SW y entre Corrales y Paz de Rio adquiere rumbo NNE-SSW. Dada la evidencia del cabalgamiento, el buzamiento de la superficie de falla debe ser hacia el noroeste, con ángulo de inclinación desconocido.

La falla pone en contacto la Formación Concentración (Pgc) a veces con las formaciones antiguas, a veces con las del Cretáceo Inferior o Medio. En el rio Soapaga se puede observar el contacto del predevónico metamórfico y la Formación Concentración (Pgc). Para la estimación del desplazamiento, sin embargo, son las formaciones cretáceas la referencia para el cálculo, obteniéndose un valor aproximado de 2.500 m (*Italo Reyes Chittaro, 1984*).

Se puede observar el trazo de la Falla de Soapaga en la Plancha 172 del Servicio Geológico Colombiano a escala 1:100.000. **Ver Ilustración 4.**

#### 2.3.1.1 Delimitación de la Falla de Soapaga con apoyo de UAV en la Zona de Estudio

Para hacer de manera correcta la delimitación de la Falla de Soapaga en la zona de estudio es necesario hacer el análisis de fotografías aéreas que para este caso fueron capturadas por un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV), las fotografías hechas con este DRON nos dan una vista única del área de estudio que solo es posible obtenerla usando estas tecnologías debido a que se obtienen imágenes de la zona en diferentes ángulos que van desde los 20° hasta los 50° y con una resolución muy buena que nos permite identificar la zona de manera detallada, esto es muy útil para hacer una interpretación estructural correcta ya que tenemos la información en tiempo real y se puede hacer su interpretación en campo, sumado a esto se obtiene un respaldo de los videos de los vuelos realizados los cuales son de gran ayuda en el momento de procesar la información en la oficina con mayor detenimiento. Estas características de las fotografías hechas con UAV no las brindan las imágenes satelitales las cuales son de más fácil acceso, pero muchas veces con limitaciones como la resolución, ángulos, nubosidad, costos y disponibilidad.



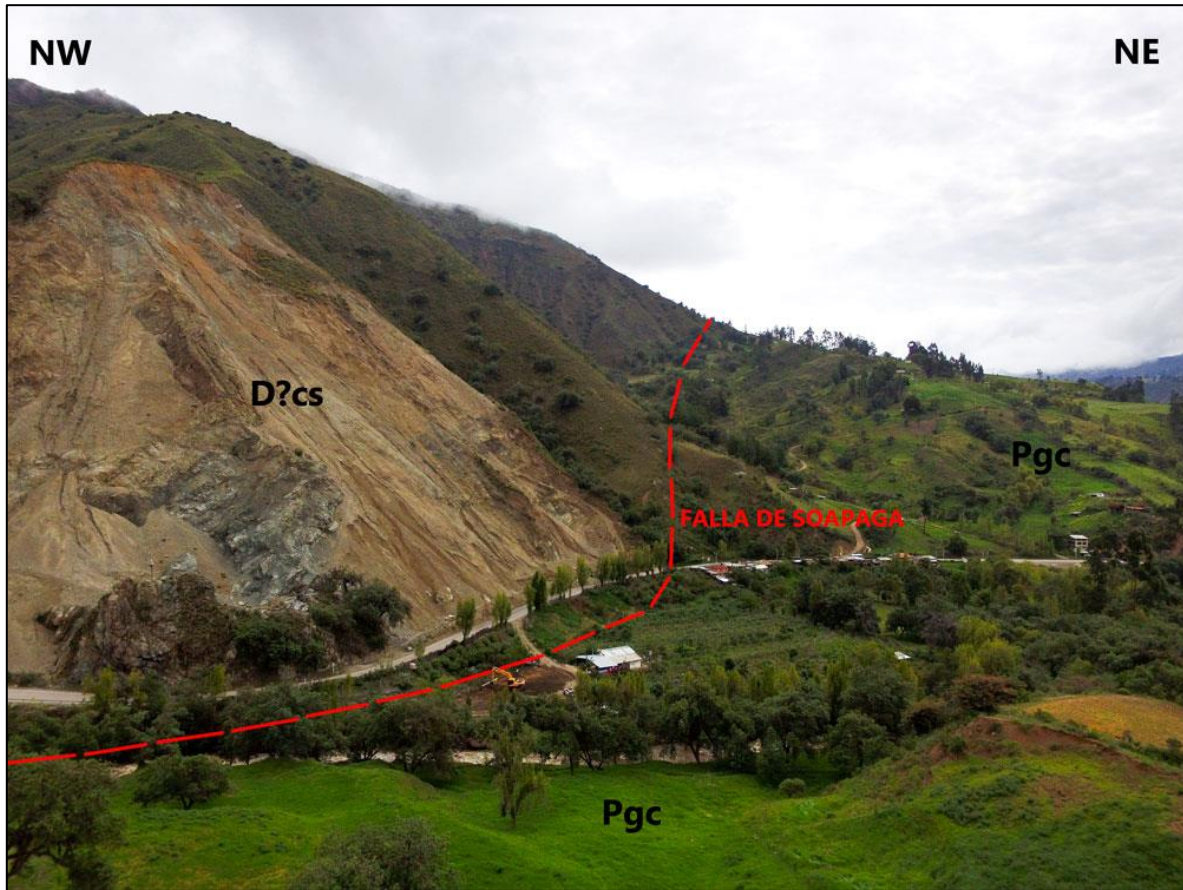
**Fotografía 12.** UAV utilizado para la toma de fotografías en campo



**Fuente:** Autor

A continuación, se exponen las fotografías hechas con UAV en la zona del deslizamiento para la delimitación de la falla de Soapaga. La interpretación fue realizada con estas fotografías, la plancha 172, el software ArcGis 10.3 y los datos obtenidos en campo.

**Fotografía 13.** Falla de Soapaga en la zona de estudio vista frontal

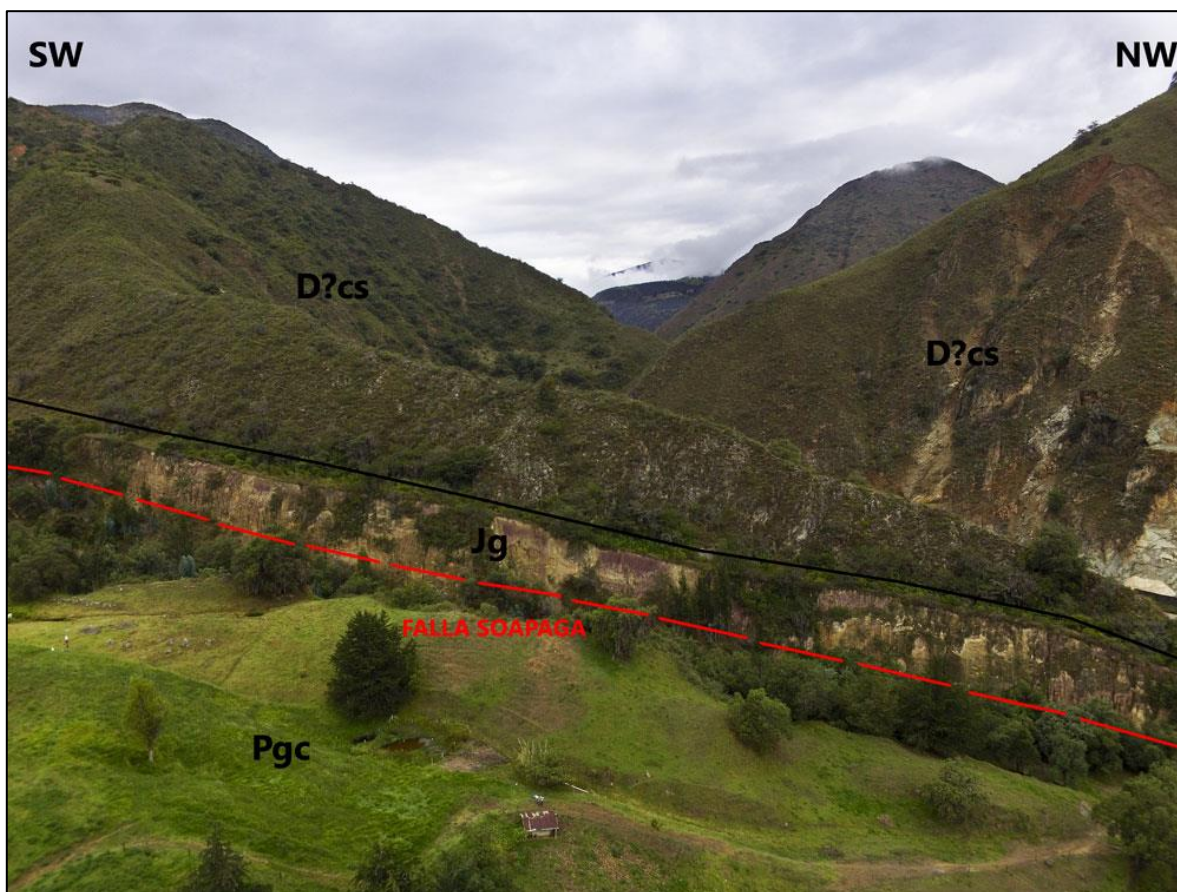


**Fuente:** Ingeospacial. Edición realizada por el autor.

Se observa la zona del deslizamiento con una vista frontal de Sur a Norte, la fotografía del deslizamiento está capturada a 81 metros de altura donde se infiere el trazo de la Falla de Soapaga la cual pone en contacto las rocas de la Formación Concentración (Pgc) y las rocas del predevónico metamórfico como lo es la Formación Cataclasitas de Soapaga (D?cs). Se evidencia esta gran falla ya que separa dos regiones con un estilo morfoestructural muy diferente, las Cataclasitas de Soapaga con una morfología escarpada debido a presiones y temperaturas ejercidas durante el periodo de metamorfismo y la Formación Concentración (Pgc) que presenta colinas residuales originadas por procesos tectónicos y posteriormente siendo atacada por procesos denudacionales y de meteorización.



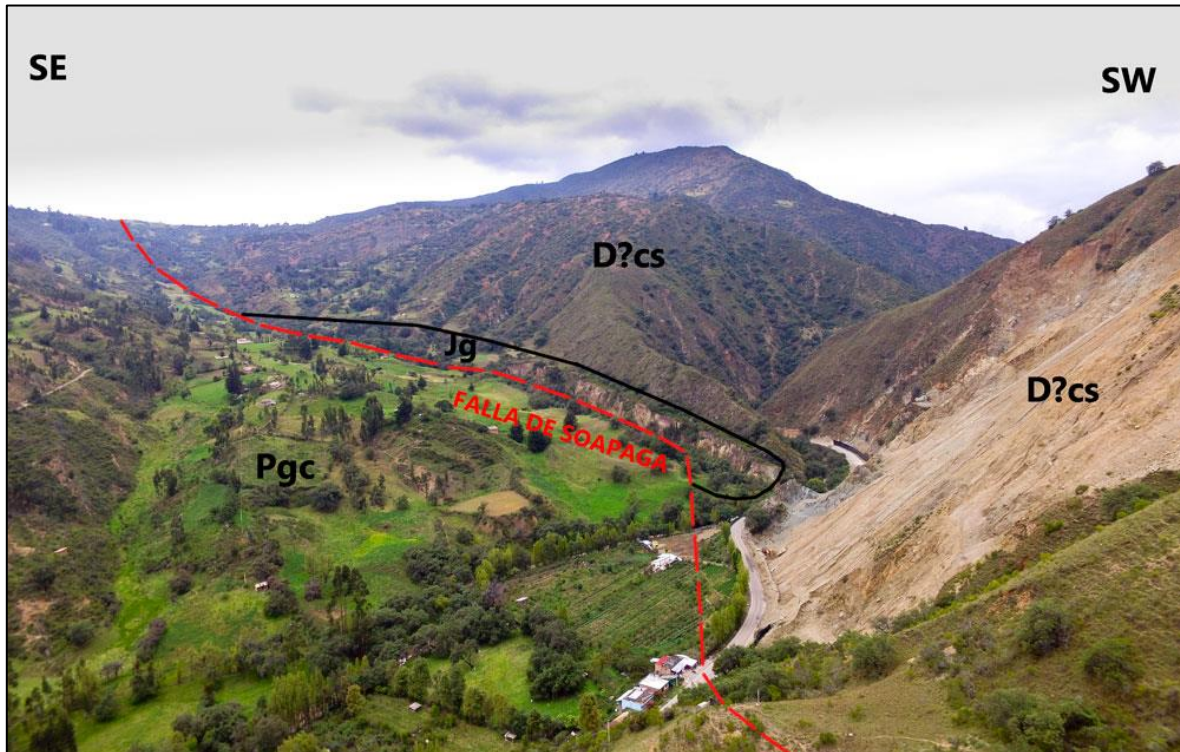
**Fotografía 14.** Falla de Soapaga en la zona de estudio vista lateral



**Fuente:** Ingeospacial. Edición realizada por el autor.

En esta fotografía se observa una vista lateral de la zona del deslizamiento tomada de Este a Oeste a una altura de 121 metros donde se infiere el trazo de la Falla de Soapaga de manera clara la cual pone en contacto las rocas de la Formación Concentración (Pgc) con las rocas de la Formación Girón (Jg) y la Formación Girón en contacto con las rocas del predevónico metamórfico como lo es la Formación Cataclasitas de Soapaga (D?cs). Se observa el cambio en la morfología del terreno por la influencia de la Falla de Soapaga donde la Formación Cataclasitas de Soapaga (Dc?s) debido a la dureza y fracturamiento de las rocas tiene un estilo montañoso y unos escarpes abruptos por lo cual es atacada por procesos denudativos y erosivos locales haciendo la zona susceptible a movimientos en masa y en contraste la Formación Concentración (Pgc) se comporta de manera más plástica debido a que la conforman arcillas y areniscas que suavizan la morfología del terreno presentando colinas residuales de materiales homogéneos y cubiertas por suelos residuales de no más de 2 metros de espesor.

**Fotografía 15.** Falla de Soapaga en la zona de estudio vista opuesta



**Fuente:** Ingeospacial. Edición realizada por el autor.

En esta fotografía se observa una vista lateral de la zona del deslizamiento tomada de Noreste a Suroeste a una altura de 186 metros donde se delimitó el trazo de la Falla de Soapaga la cual está poniendo en contacto las rocas de la Formación Concentración (Pgc) con las rocas de la Formación Girón (Jg) y esta a su vez en contacto con las rocas del predevónico metamórfico como lo es la Formación Cataclasitas de Soapaga (D?cs). Esta falla pasa por el costado derecho del movimiento en masa y se extiende hacia el Sur separando dos estilos morfoestructurales muy marcados. Debido a que es una falla muy grande y pasa muy cerca del deslizamiento en un eventual periodo de gran actividad de esta se puede ver afectada la estabilidad de este talud, del movimiento en masa y de toda esta zona.



**Fotografía 16.** Falla de Soapaga en la zona de estudio vista lateral



**Fuente:** Ingeospacial. Edición realizada por el autor

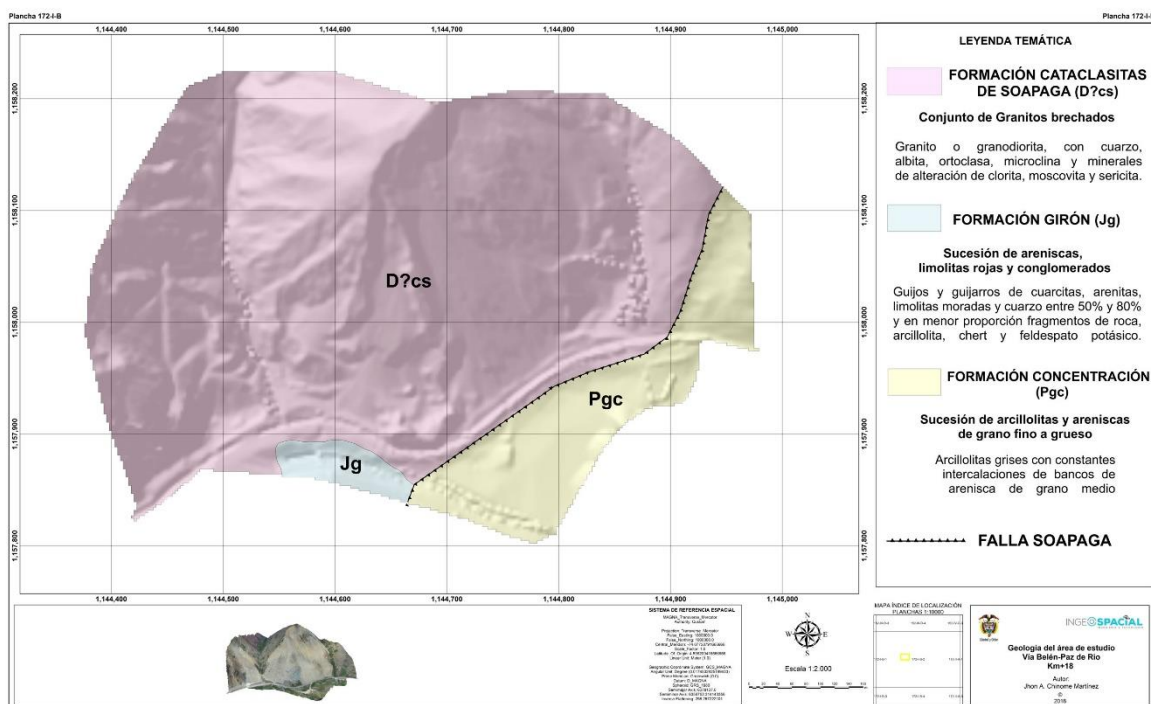
Esta fotografía muestra una vista lateral de la zona del deslizamiento tomada de Oeste a Este a una altura de 131 metros donde se deduce el trazo de la Falla de Soapaga al igual que en la **Fotografía 13** la cual pone en contacto las rocas de la Formación Concentración (Pcg) y las rocas del predevónico metamórfico como lo es la Formación Cataclasitas de Soapaga (D?cs). Se observa el cauce del río Soapaga el cual puede ser afectado si se reactiva el movimiento. La fotografía expone la cercanía de la falla con el deslizamiento y con esta importante vía por lo que se debe tener presente a la hora de realizar alguna obra en la zona.

La presencia de la Falla de Soapaga tiene gran incidencia en la zona, esto se evidencia en el fracturamiento de las rocas en el sector como se observa en las fotografías de los controles en campo; durante el periodo de actividad tectónica de esta falla sumado a los esfuerzos compresivos ejercidos sobre las rocas de la Formación Cataclasitas de Soapaga (Dc?s) dio como resultado que las rocas quedaran bastante fracturadas y dispuestas para ser atacadas por procesos denudacionales y erosivos haciendo que los Granitos Brechados de la formación sean susceptibles a movimientos en masa.

### 2.3.2 Mapa de Geología

Como resultado de los puntos de control realizados en campo en la zona del deslizamiento y la delimitación de la Falla de Soapaga y con las fotografías tomadas con tecnologías UAV se presenta en la **Ilustración 5** el Mapa de Geología de la zona del deslizamiento.

**Ilustración 5.** Mapa de Geología de la zona de estudio



Fuente: Autor

## **2.4 GEOMORFOLOGÍA**

El propósito de realizar la cartografía geomorfológica es proveer de información concisa y sistemática sobre las formas del terreno; su origen, los tipos de materiales involucrados y los procesos naturales tanto antiguos como activos que hacen parte del proceso de transformación y modelamiento de cada una de las geoformas presentes en nuestra zona de estudio.

### **2.4.1 Fases de elaboración del componente Geomorfológico**

Las siguientes son las actividades realizadas para determinar los componentes Geomorfológicos de la zona de estudio, los cuales se describen a continuación:

- Recopilación de la información temática: Se consultaron las entidades del orden oficial como el SGC y el IGAC y privado como INGEOSPACIAL para coleccionar la información disponible en cuanto a cartografía geológica, geomorfología, topografía, imágenes de satélite, fotografías aéreas.
- Revisión de imágenes de satélite y fotografías aéreas del área de estudio para hacer una fotointerpretación preliminar con el fin de determinar las geoformas asociadas a las formaciones geológicas, unidades de roca, suelos residuales y transportados, procesos morfo dinámicos y rasgos estructurales, entre otros.
- Reconocimiento, verificación, ajuste y complementación de la información geomorfológica mediante trabajo de campo; descripción y cartografía de las geoformas asociadas a las unidades geológicas superficiales; caracterización de los elementos estructurales como son las fallas, pliegues, lineamientos y discontinuidades menores.
- Evaluación y procesamiento de la información de campo, elaboración de las bases de datos y generación de mapas temáticos.

### **2.4.2 Interpretación de sensores remotos**

Se realizó una actividad de fotointerpretación de Sensores Remotos a escala 1:2.000, de imágenes tipo orto foto generadas por UAV las cuales tienen un nivel de detalle muy bueno el cual permite reconocer de manera eficiente los rasgos morfológicos de la zona de estudio, se definen y delimitan cartográficamente los procesos morfodinámicos existentes en área así como las geoformas con rasgos específicos del relieve (escarpes naturales o antrópicos , relieves internos de laderas o flancos, crestas, formas de valle), determinados por la morfometría

detallada del terreno dentro de un determinado sistema o paisaje geomorfológico así como el ambiente de formación que relaciona características particulares del relieve con un patrón de componentes de subunidades del terreno.

A continuación, se muestra la imagen pancromática con la que se realizó la fotointerpretación de la zona de estudio.

**Ilustración 6.** Imagen pancromática utilizada para hacer la fotointerpretación a escala 1:2000



**Fuente:** Ingeospacial

La fotointerpretación fue hecha en la sala de sensores remotos de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y posteriormente digitalizada para una mejor presentación. En la **Ilustración 7** se observa el resultado final del análisis.



**Ilustración 7.** Fotointerpretación realizada en la zona de estudio a escala 1:2000



**Fuente:** Ingeospacial. Interpretación realizada por el autor.

### 2.4.3 Elementos Geomorfológicos

La geomorfología es una rama de la Geología que estudia las diferentes formas de la superficie terrestre. Para la zona de estudio en el Km+18 de la vía Belén-Paz de Río asumiendo la metodología geomorfológica para la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa escala 1:2000 y 1:5000 del Servicio Geológico Colombiano se realizó el levantamiento de la cartografía geomorfológica a escala 1:2.000 para la zona de estudio, la cual se utilizó para la generación de los siguientes atributos:

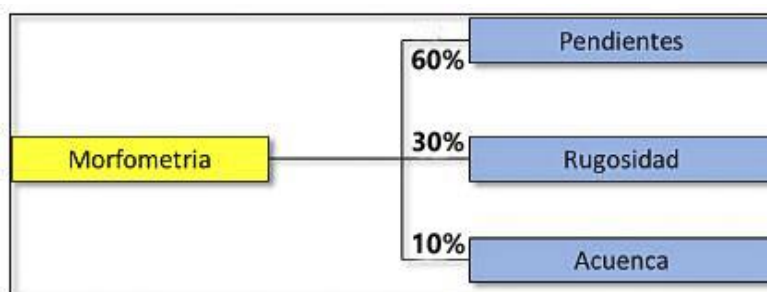
- **Morfometría:** Trata de los aspectos cuantitativos de las geoformas, medida, dimensiones y valores de pendientes, rugosidad y acuenca.
- **Morfogénesis:** Implica la definición del origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron la forma al paisaje. El origen del paisaje depende de los procesos endogenéticos y la modificación de los agentes exogenéticos (agua, viento, hielo), que actúan sobre la superficie terrestre en diferentes proporciones e intensidades, y durante intervalos de tiempos geológicos, modelando el terreno (Carvajal, 2012).

- **Morfodinámica:** La morfodinámica es la parte de la geomorfología que trata de los procesos geodinámicos externos (principalmente denudativos), tanto antiguos como recientes que han modelado y continúan modelando el relieve y son los responsables del estado actual de las geoformas o unidades de terreno (Carvajal, 2012).

### 2.4.3.1 Morfometría

Indica los aspectos cuantitativos de las geoformas, medida, dimensiones y valores de pendientes, rugosidad y acuenca. Teniendo en cuenta estos parámetros morfométricos se utilizó el Modelo Digital de Elevación (DEM) generado por medio de UAV y el software ArcGis 10.3 para la zona de estudio como insumo principal para la realización de los mapas con los parámetros anteriormente mencionados.

**Ilustración 8.** Porcentajes de los parámetros que componen la Morfometría



**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000 SGC.

#### 2.4.3.1.1 Rango de Pendientes

La pendiente se define como el Angulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal, cuyo valor se expresa en grados de 0 a 90. La pendiente se puede considerar como un factor importante en la ocurrencia de movimientos en masa en la medida en que se relaciona directamente con las tensiones de corte tangenciales y normales en los materiales superficiales, e influye también en la distribución de agua en la ladera (Santacana, 2001). La pendiente es el principal factor geométrico a tener en cuenta en análisis de estabilidad y puede obtenerse como una variable cuantitativa continua que se deriva del Modelo Digital de Elevación (DEM).

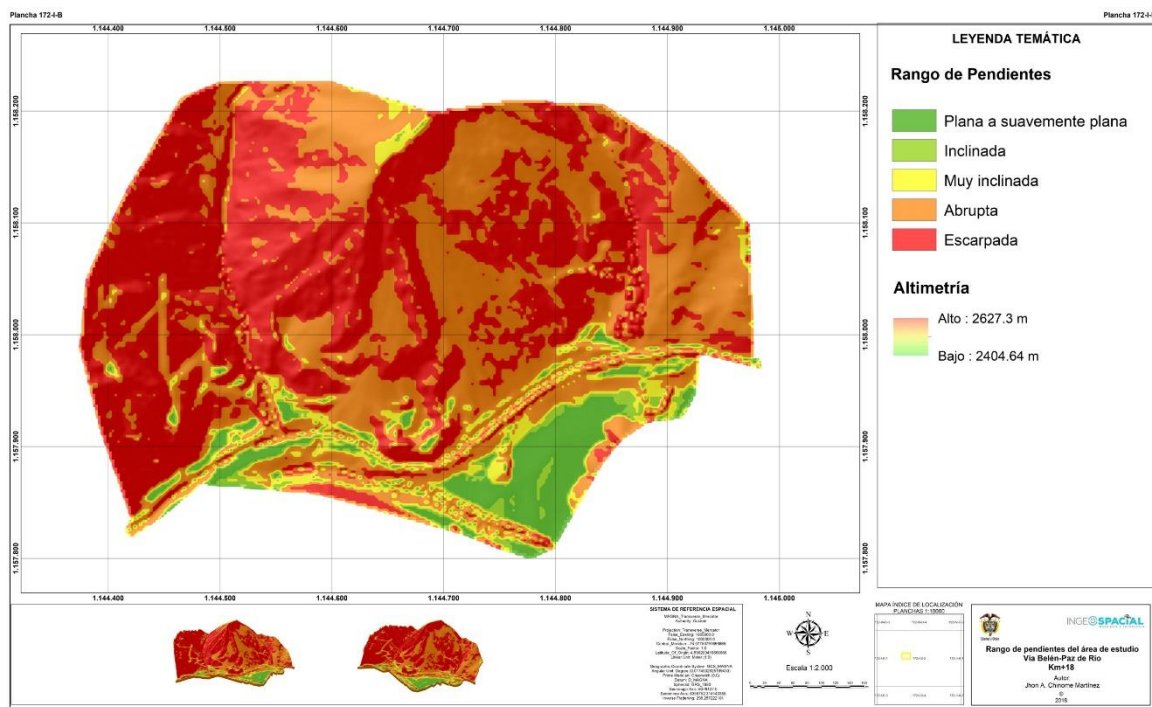
**Tabla 4.** Rangos de pendiente utilizados con propósitos de análisis de ingeniería y zonificación de amenazas por movimientos en masa

CALIFICACION	RANGO	DESCRIPCION
	0-7°	PLANA O SUAVEMENTE PLANA
	7-11°	INCLINADA
	11-19°	MUY INCLINADA
	19-40°	ABRUPTA
	40-90°	ESCARPADA

**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano SGC.

A continuación, se muestra el mapa de pendientes realizado en ArcGis 10.3 y categorizado según los rangos presentados en la **Tabla 4**.

**Ilustración 9.** Mapa de pendientes



**Fuente:** Autor

Se observa en este mapa de pendientes que la mayor parte corresponde según los rangos de la **Tabla 4** a una pendiente abrupta y escarpada en donde el terreno tiene valores muy altos de pendiente y esto lo hace propenso a sufrir procesos denudacionales intensos lo cual afecta la estabilidad de la zona y es susceptible a la ocurrencia de movimientos en masa.

#### 2.4.3.1.2 Rugosidad

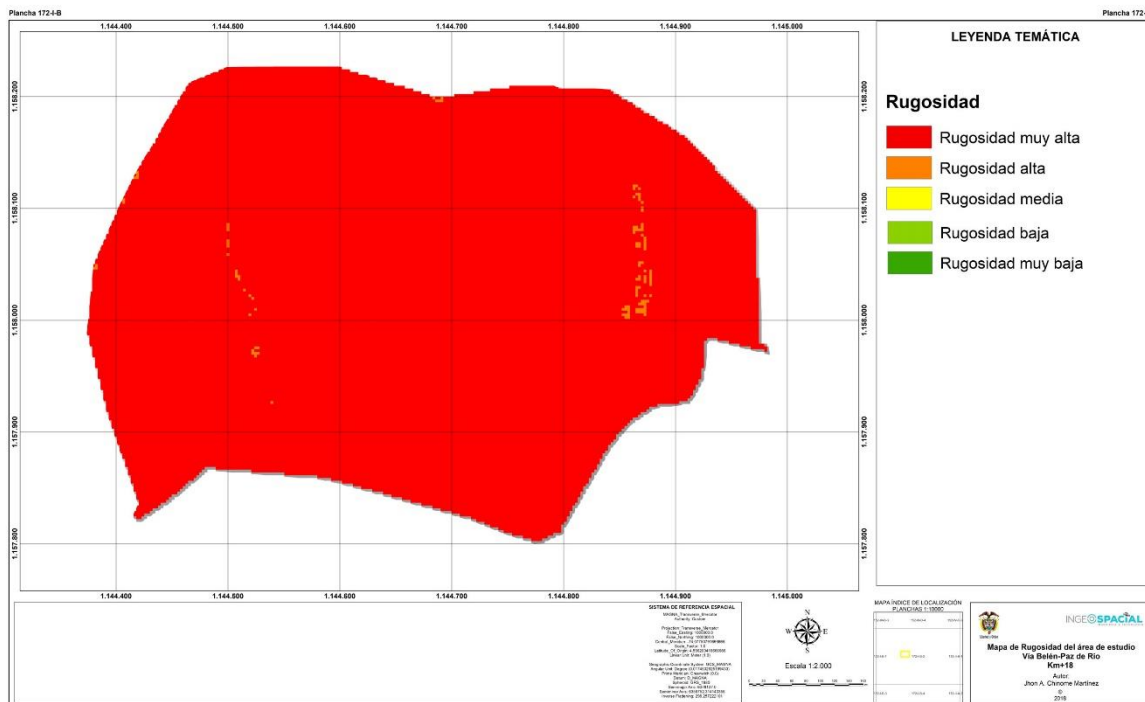
El mapa de rugosidad se define como la variación de la pendiente que representa la desviación del vector normal a la superficie en cada celda, las formas como los límites de taludes y laderas tanto en los valles como en las crestas. Se relaciona con los movimientos en masa de manera que las laderas de rugosidad alta son más propensas a presentar movimientos en masa debido a que los cambios sucesivos de pendientes favorecen una mayor infiltración del agua en el terreno y, por ende, aumenta la inestabilidad del mismo. (*Servicio Geológico Colombiano, Agosto 2013*). El parámetro rugosidad se clasificó de acuerdo con el rango propuesto en el documento metodológico (**Ver Tabla 5**), con base en el Modelo Digital de Elevación de la zona de estudio utilizado.

**Tabla 5.** Rangos de clasificación susceptibilidad de la Rugosidad

CONVENCION	RANGO	DESCRIPCION
	0,2830-0,985	RUGOSIDAD MUY ALTA
	0,985-0,99	RUGOSIDAD ALTA
	0,99-0,995	RUGOSIDAD MEDIA
	0,995-0,9975	RUGOSIDAD BAJA
	0,9975-1	RUGOSIDAD MUY BAJA

**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano SGC.

**Ilustración 10. Mapa de Rugosidad**



**Fuente:** Autor

#### 2.4.3.1.3 Acuencia

El atributo Acuencia corresponde a la superficie de la cuenca aguas arriba de la celda cuya sumatoria de la superficie vierten a una celda determinada (cuenca acumulada). La variable se deriva del Modelo Digital de Elevación (DEM) y se expresa en m<sup>2</sup>. Si bien es una variable cuantitativa, los valores de superficie son múltiplo del área de una celda, no tratándose de una variable continua (*Servicio Geológico Colombiano, Agosto 2013*).

El área de la cuenca se relaciona con la cantidad de agua que es capaz de recoger e infiltrar en un terreno, a mayor superficie más agua infiltrada y más posibilidades de desarrollar inestabilidad en el terreno (*Neuland, 1976, Hatano 1976, Okimura 1983, Oyagi 1984*).

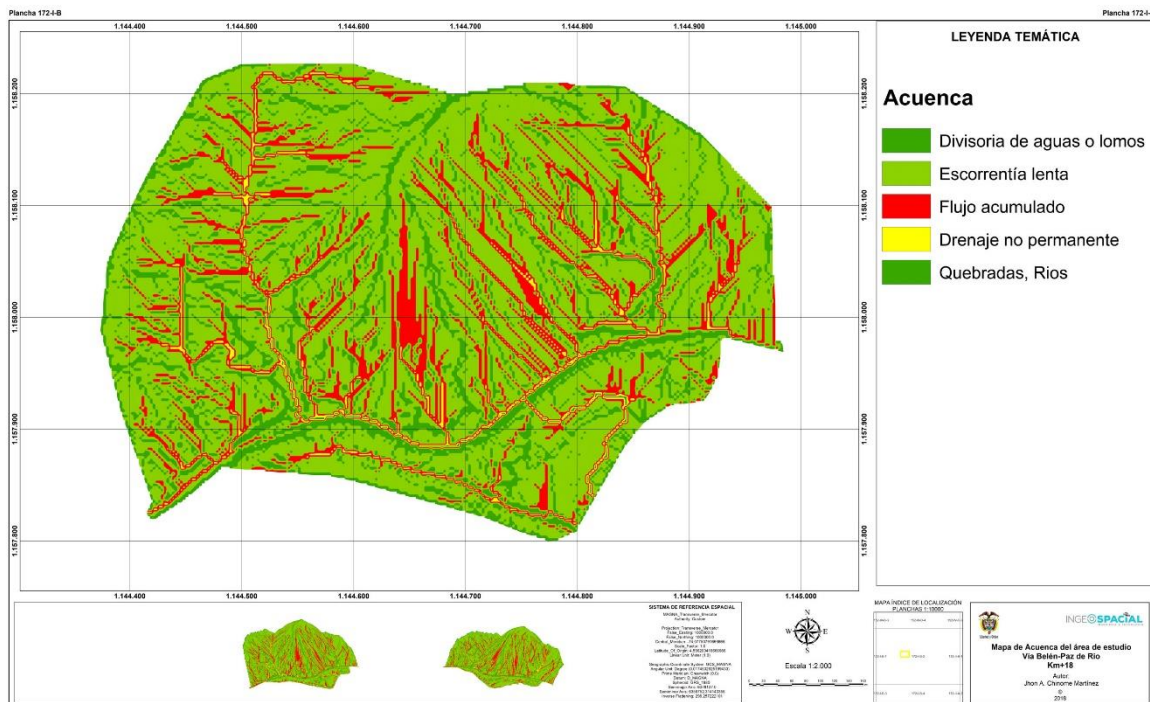


**Tabla 6.** Rangos de clasificación del atributo Acuenca

CONVENCION	RANGO	DESCRIPCION	SUSCEPTIBILIDAD
	0	Divisoria de Aguas o Lomos	Muy baja
	0 - 3.500	Escorrentía Lenta	Baja
	3.500 - 40.000	Flujo Acumulado	Muy alta
	40.000 - 1'000.000	Drenaje no permanente	Media
	1'000.000 - 1'223.633,280	Quebradas, Ríos	Muy baja

**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano SGC.

**Ilustración 11.** Mapa de Acuenca

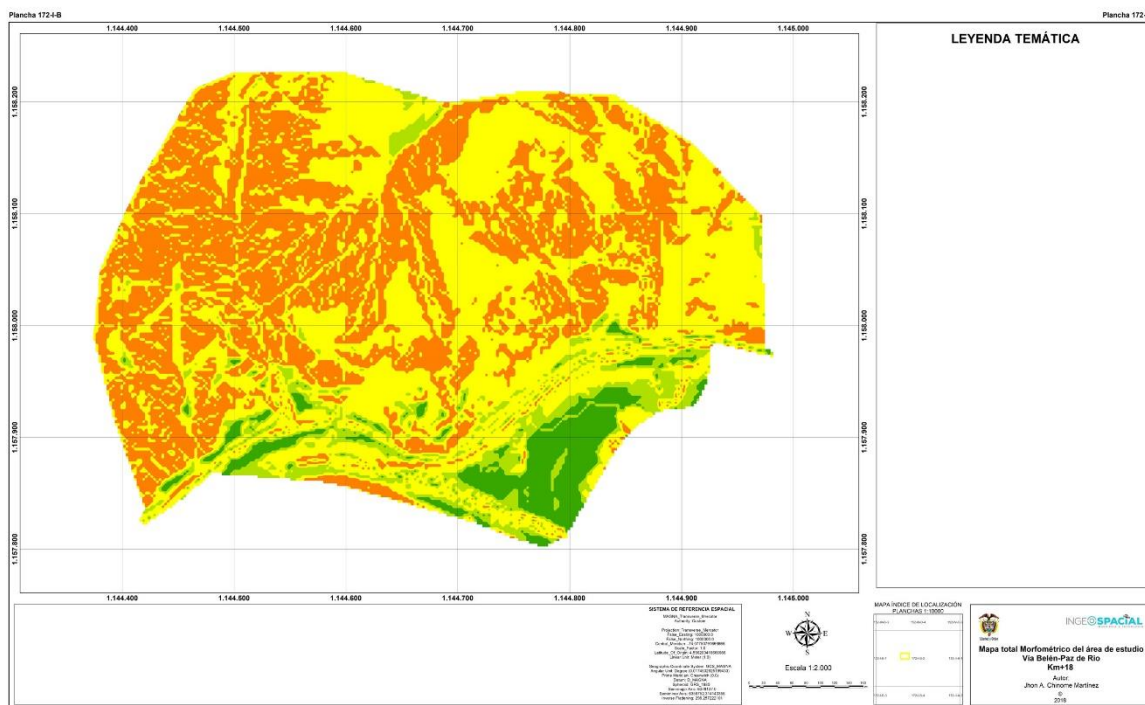


**Fuente:** Autor

#### 2.4.3.1.4 Mapa total Morfométrico

Para la generación del Mapa total Morfométrico se realiza una operación matemática  $((\text{Pendientes} \times 0.60) + (\text{Rugosidad} \times 0.3) + (\text{Acuenca} \times 0.10) = (\text{Morfometría}))$  en el cual se utilizan las herramientas de ArcGis 10.3 Map Algebra/ Raster Calculator.

**Ilustración 12.** Mapa total Morfométrico

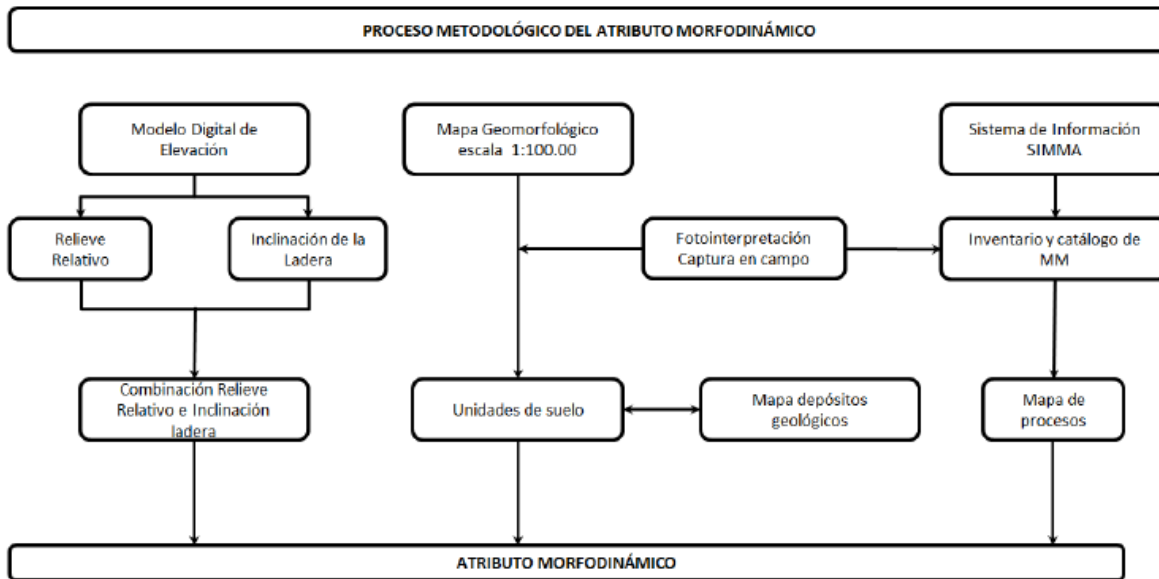


**Fuente:** Autor

#### 2.4.3.2 Morfodinámica

La generación del atributo morfodinámico se ha hecho a través de un proceso de agrupamiento el cual se construye a partir de la representación cartográfica de los suelos transportados vistos como geoforma, del inventario de procesos a partir del sistema de información SIMMA, de la foteointerpretación, del inventario de campo y las variables geométricas derivadas del modelo DEM. Es a través de este agrupamiento que obtenemos una distribución espacial de los movimientos y el comportamiento del relieve asociado a las características del material.

**Ilustración 13.** Proceso metodológico en la construcción del atributo morfodinámico



**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano SGC.

#### 2.4.3.2.1 Relieve Relativo

Se hace referencia a que el relieve relativo representa la diferencia de altitud de la geoforma, independientemente de su altura absoluta o nivel del mar. Ella se mide por la diferencia de alturas entre la parte más baja y alta, llámese colina, montaña, meseta, terraza y otros (INGEOMINAS, 2004).

Para este caso utilizamos el FocalRange, de ArcGis 10.3, cuya descripción se encuentra a continuación:

El FocalRange es una herramienta estadística de ArcGis, la cual realiza una operación de vecindad que calcula un ráster de salida en donde el dato para cada celda de salida es una función de los valores de todas las celdas de entrada que están en una vecindad específica alrededor de esa ubicación. La función que se realiza en la entrada es una estadística, como el máximo, el promedio o la suma de todos los valores que se encuentran en esa vecindad.

Conceptualmente, en la ejecución, el algoritmo visita cada celda en el ráster y calcula la estadística específica con la vecindad identificada. La celda para la cual se calcula la estadística se denomina celda de procesamiento. El valor de la celda de procesamiento, como todos los valores de celda en la vecindad identificada, es incluido en el cálculo de las estadísticas de vecindad. Las vecindades se pueden

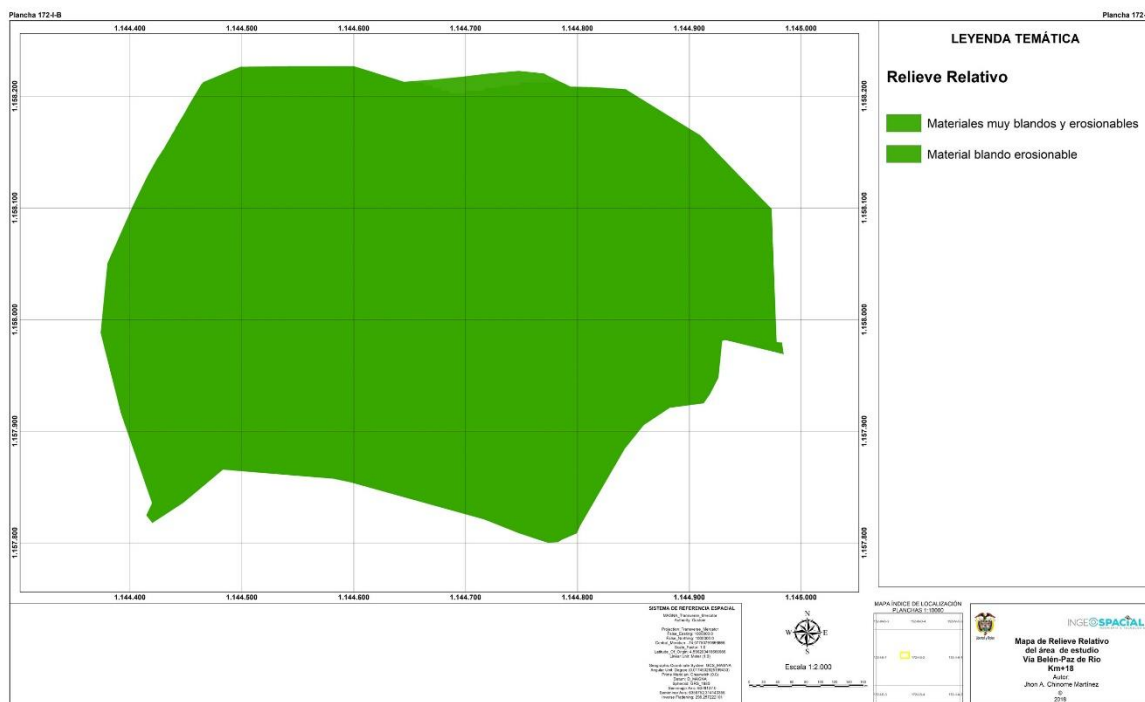
superponer de modo que las celdas en una vecindad también se pueden incluir en la vecindad de otra celda de procesamiento.

**Tabla 7.** Rangos de clasificación del atributo Relieve Relativo

CONVENCIÓN	RANGO	RESISTENCIA RELATIVA DEL MATERIAL	DESCRIPCION
	<50	Materiales muy blandos y erosionables	Muy bajo
	50-200	Blando erosionable.	Bajo
	200-400	Moderadamente blando y erosión alta.	Moderado
	400-1000	Resistente y erosión moderada.	Alto
	1000-2500	Muy resistente y erosión baja.	Muy alto
	>2500	Extremadamente resistente y erosión muy baja	Extremadamente alto

**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano SGC.

**Ilustración 14.** Mapa de Relieve Relativo



**Fuente:** Autor



### 2.4.3.2.2 Inclinación de ladera

Se hace referencia a la inclinación de la ladera porque generalmente está relacionada con el tipo de material que conforma la unidad morfológica y con la susceptibilidad de dicha unidad a la formación de los movimientos en masa (MM).

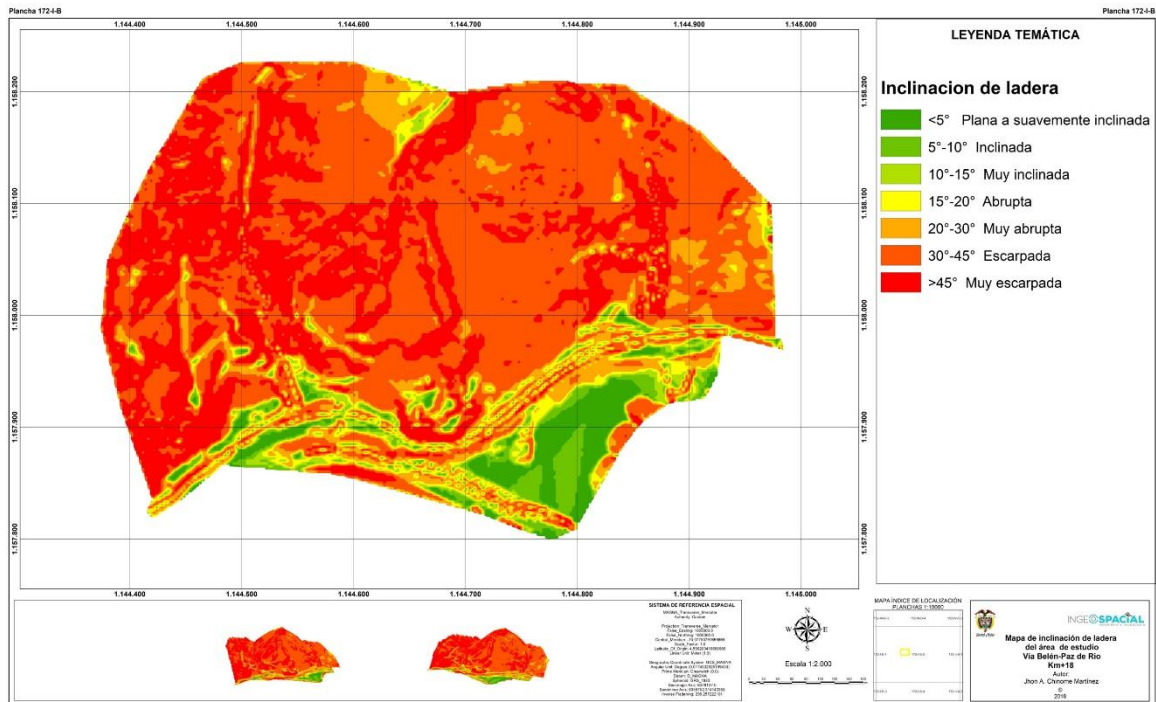
**Tabla 8.** Calificación de la inclinación de la ladera

INCLINACION	DESCRIPCION	CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y SUSCEPTIBILIDAD
< 5°	Plana a suavemente inclinada	Muy blanda y muy baja susceptibilidad a MM.
5° - 10°	Inclinada	Blanda y baja susceptibilidad a MM.
10° - 15°	Muy inclinada	Moderadamente blanda y moderada susceptibilidad a MM.
15° - 20°	Abrupta	Moderadamente resistente y moderada susceptibilidad a MM.
20° - 30°	Muy abrupta	Resistente y Alta susceptibilidad a MM.
30° - 45°	Escarpada	Muy resistente y alta susceptibilidad a MM.
> 45°	Muy escarpada	Extremadamente Resistente y alta susceptibilidad a MM.

**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano SGC.

Dado que ya fue realizado el FocalRange, se toma el DEM (Modelo Digital de Elevación, útil para calcular el parámetro Inclinación de la Ladera); y se aplica el comando SLOPE (Pendientes), el cual genera los valores de pendiente en grados y se produce el mapa. Seguidamente, se aplica el comando *RECLASSIFY*, que realiza la reclasificación de los valores anteriormente obtenidos y produce la susceptibilidad por la Inclinación de la Ladera.

**Ilustración 15.** Mapa de Inclínación de ladera



Fuente: Autor

#### 2.4.3.2.3 Mapa total de Morfodinámica

Combinación del relieve relativo y la inclinación de la ladera (RelaIncli):

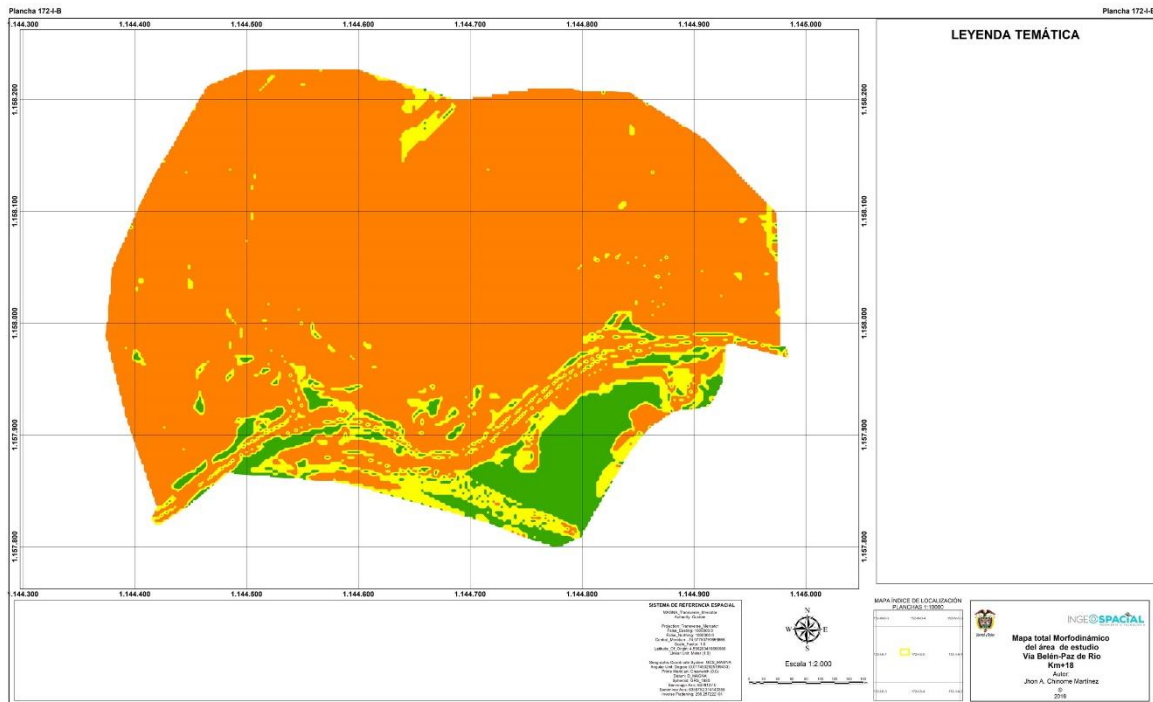
La combinación de los elementos fisiográficos, relieve relativo e inclinación de ladera mediante el modelo RelaIncli, permite la agrupación de un mismo escenario de los elementos geomorfológicos con mayor tendencia a los movimientos en masa registrados en el catálogo e inventario de estos donde cada uno de estos tiene un porcentaje específico, distribuido de la siguiente manera:

Esta combinación se realiza mediante una operación matemática con la herramienta MapAlgebra-Raster Calculator el SIG ArcGis (10.3), genera el mapa final RelaIncli.

$$((\text{RelaIncli}) = (0.60 * \text{RR}) + (0.40 \text{ IL}))$$

El mapa de susceptibilidad de fenómenos de remoción en masa por morfodinámica (combinación entre ladera e índice de relieve relativo) se muestra en la **Ilustración 16**.

**Ilustración 16. Mapa total Morfodinámico**



**Fuente:** Autor

#### 2.4.3.2.4 Inventario de Movimientos en Masa

Se realizó el inventario del movimiento presente en el área de estudio con el formato del SIMMA el cual se puede ver en el **Anexo 1**. Este movimiento está definido como un deslizamiento traslacional el cual se puede ver caracterizado en el **Capítulo 3** del presente trabajo.

#### 2.4.3.3 Morfogénesis

##### 2.4.3.3.1 Definición de ambientes Morfogénéticos

Para cumplir con el propósito del proyecto, la información geomorfológica de la zona de estudio se representa en un mapa o plano a escala 1:2.000, el cual está relacionado con una base de datos planteada para ser manejada con un Sistema de Información Geográfica (SIG). Para tal efecto se siguen los lineamientos

generales establecidos en la metodología I.T.C (*Verstappenn y Van Zuidam, 1992*) donde Cada elemento cartográfico está representado, por símbolos; convenciones y colores usados en estándares de uso internacional con modificaciones establecidas por *Carvajal (2002)* de acuerdo con la experiencia del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

El levantamiento geomorfológico está dirigido a proporcionar información precisa y debidamente jerarquizada de las geoformas observadas y cartografiadas en la zona de estudio, así como la definición y caracterización de los procesos morfodinámicos y los fenómenos naturales conexos. Para su caracterización se considera la metodología de trabajo que desarrollan las entidades del estado cuya misión es el avance del conocimiento y la evaluación de las amenazas naturales (*Carvajal, 2011*).

En la elaboración de este componente, se siguen los lineamientos de jerarquización propuestos por *Carvajal (2008)* y *Carvajal (2011)*, quien plantea enfocar el análisis geomorfológico de un sitio o lugar, siguiendo un proceso analítico del terreno desde un punto de vista regional hasta llegar a uno local. En donde, se relaciona la escala aplicada en este proyecto la cual es 1:2.000.

Un ambiente morfogenético, agrupa las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas bajo las cuales se formaron las geoformas. Se determina con base en la expresión e interpretación de los procesos geomorfológicos registrados en el terreno, que dieron lugar a la formación, evolución y modificación de las geoformas. Según la clasificación propuesta por *Carvajal (2008)* y teniendo en cuenta los ambientes morfogenéticos existen las siguientes categorías de ambientes a nivel nacional de los cuales se simplificará y utilizarán los existentes en la zona de estudio.

**Tabla 9.** Descripción de ambientes Morfogenéticos

AMBIENTE	DEFINICIÓN	COLOR
Ambiente estructural	Corresponde a las geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente las asociadas a plegamientos y fallamientos. Incluye el ambiente neotectónico (Geoformas originadas por la actividad tectónica activa y que se ha prolongado durante el Cuaternario).	El color utilizado en la cartografía para estos paisajes es el púrpura.

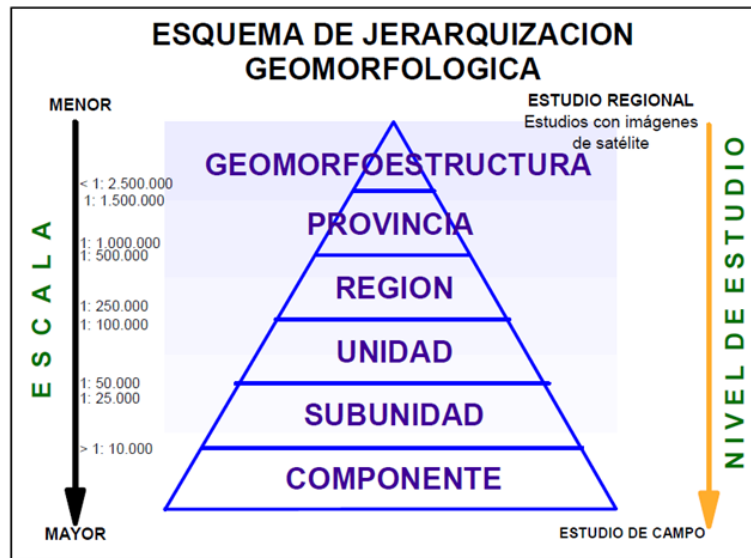


Ambiente volcánico	Asociado en las regiones donde predominan los procesos que generan geoformas volcánicas por la extrusión de materiales fundidos procedentes del interior de la tierra.	Color recomendado el rojo de acuerdo con Verstappen y Van Zuidam (1992).
Ambiente denudacional	Determinado por la actividad de procesos de meteorización, y predominantemente de procesos erosivos hídricos y de fenómenos de transposición o de remoción en masa actuantes sobre geoformas pre-existentes.	Para este tipo de regiones el color adoptado es el marrón.
Ambiente fluvial	Corresponde a las geoformas generadas por los procesos relacionados con la actividad fluvial.	Se propone el color azul para estas regiones.
Ambiente marino profundo y costero	Determinado por las geoformas construidas por la actividad de las corrientes marinas y el oleaje costero del mar.	El color propuesto para este tipo de región es el verde.
Ambiente glaciar	Definido por las geoformas originadas por la acción glacial, tanto de los casquetes polares, como en altas montañas.	Color de la simbología para la cartografía de este tipo de ambiente natural es el gris.

**Fuente:** Propuesta Metodológica Sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos (SGC 2012)

Teniendo en cuenta la metodología empleada por *Carvajal (2008)*, se plantea enfocar el análisis geomorfológico de un sitio o lugar, siguiendo un proceso analítico del terreno desde un punto de vista regional hasta llegar a uno local. Para tal efecto desarrolla una propuesta de jerarquización geomorfológica, en la cual relaciona las escalas de trabajo con las jerarquías geomorfológicas, donde la base regional está fundamentada en la génesis geológica de las geoformas y los ambientes morfogenéticos, así como el detalle basado en los ambientes morfogenéticos, expresión morfológica, litología y procesos morfodinámicos.

**Ilustración 17.** Esquema de jerarquización geomorfológica propuesta para el SGC



**Fuente:** Propuesta Metodológica Sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos (SGC 2012)

#### - Geomorfoestructura (Escala < 1:2.500.000)

Corresponde a grandes áreas geográficas o amplios espacios continentales o intracontinentales, caracterizados por estructuras geológicas y topográficas regionales. Ejemplo de esta categoría son cratones, escudos, plataformas, grandes cuencas, cinturones orogénicos y valles en rift.

#### - Provincia Geomorfológica (Escala 1:1000.000 A 1:500.000)

Son conjuntos de regiones con geoformas parecidas y definidas por un macro relieve y una génesis geológica similar. Localmente, se corresponden con las regiones naturales y con los terrenos geológicos de Colombia, los cuales están demarcados por fallas regionales y continentales definidas o inferidas. Se definen en términos tales como: cinturones montañosos, llanuras, peniplanicies, cordilleras y serranías.

#### - Región Geomorfológica (Escala 1:250.000 A 1:500.000)

Involucra a las geoformas relacionadas a la génesis de los paisajes, y definidas por un marco de ambiente morfogenético definido y afectados por procesos dinámicos parecidos. Aquí se pueden agrupar áreas equivalentes a vertientes que estén contenidas dentro de una provincia geomorfológica y que representen un ambiente morfogenético particular con condiciones climáticas homogéneas. Se constituyen de Unidades geomorfológicas (Escala 1:50.000 a 1:100.000), definidas como una geoforma individual genéticamente homogénea, generada por un proceso geomorfológico constructivo o destructivo de un ambiente geomorfológico

particular. Corresponde a los elementos básicos que componen un paisaje o modelo geomorfológico, los cuales están definidos con criterios genéticos, morfológicos y geométricos en función de la escala el proceso natural que lo conformó.

**- Subunidad Geomorfológica (Escala 1:10.000 a 1:25.000)**

Esta categoría está definida fundamentalmente por contrastes morfológicos y morfométricos que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de los mismos. Igualmente, está definida por el contraste dado por las formaciones superficiales asociadas a procesos morfodinámicos actuales de meteorización, erosión, transporte y acumulación bien definidos.

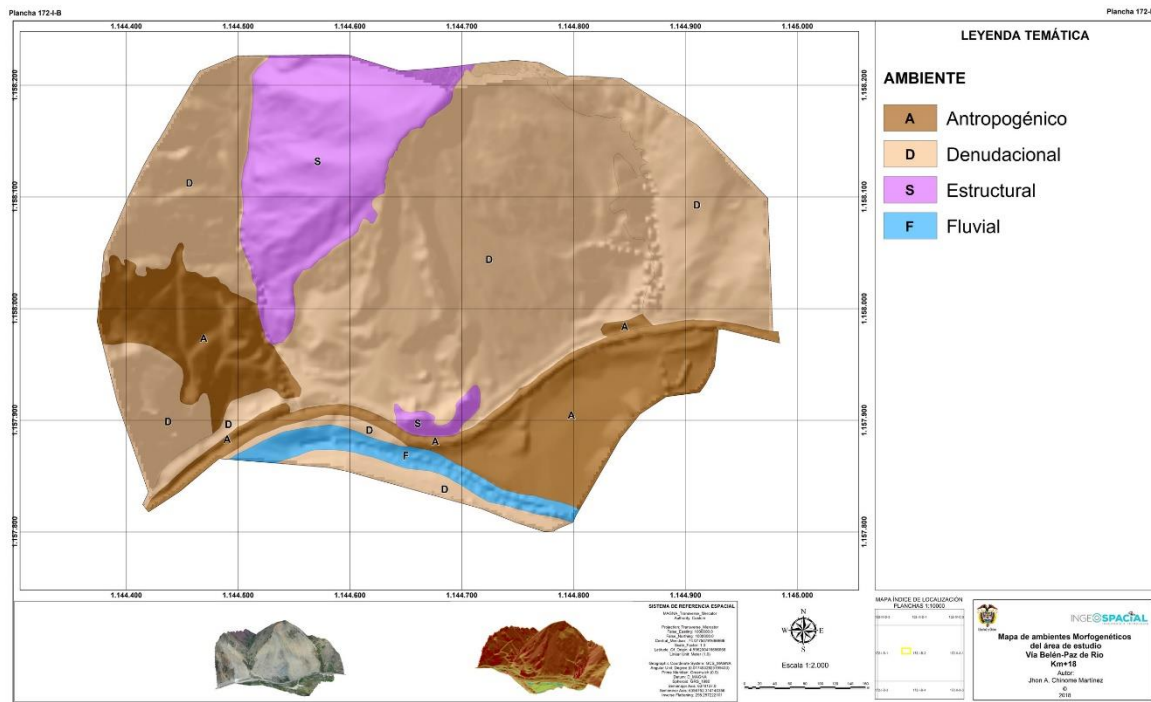
**- Componente o Elemento Geomorfológico (Escala 1:2000 A 1:10.000)**

Esta subdivisión representa el máximo nivel de detalle en la jerarquización. Determina los rasgos del relieve (escarpes naturales o antrópicos, relieves internos de laderas o flancos, crestas, formas de valle) definidos en sitios puntuales y determinados por la morfometría detallada del terreno en una subunidad geomorfológica. Igualmente puede estar definida por microrelieves asociados con una característica litológica.

#### **2.4.3.3.2 Mapa de ambientes Morfogenéticos**

A nivel geomorfológico la zona de estudio presenta 4 ambientes morfogenéticos, Antropogénico (A), Denudacional (D), Estructural (S) y Fluvial (F). Esta Clasificación se realiza teniendo en cuenta los ambientes de formación y la respectiva notación establecidos de acuerdo a la metodología ITC. (*Verstappen y Van Zuidam, 1992*) y (*Metodología Servicio Geológico Colombiano, Carvajal, 2011*) así como el Glosario de unidades y subunidades Geomorfológicas propuesto por (*Carvajal, 2008*) y modificado por el Servicio Geológico Colombiano.

**Ilustración 18.** Mapa de ambientes Morfogénéticos



**Fuente:** Autor

En la **Tabla 10**, se encuentran agrupados de forma sintética los ambientes morfogenéticos presentes en la zona de estudio, con su área en hectáreas (Ha) y porcentaje de ocupación, también se realizó el grafico de distribución de dichos ambientes.

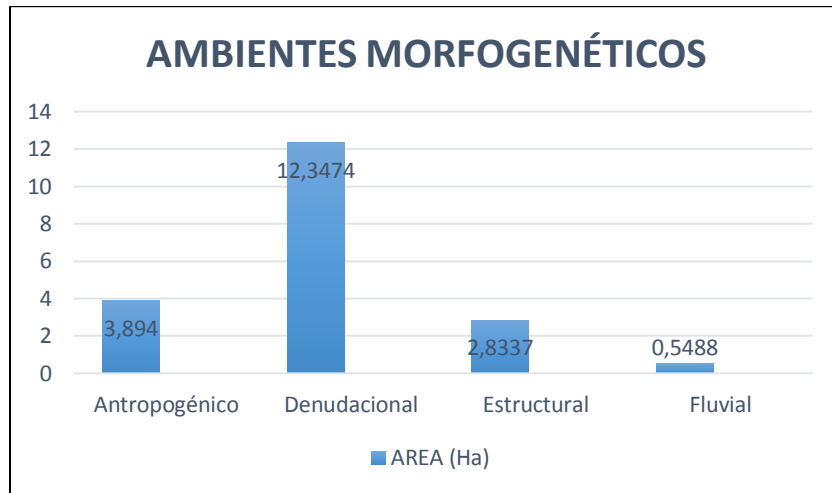
**Tabla 10.** Ambientes Morfogénéticos presentes en la zona de estudio

AMBIENTE	AREA (Ha)	AREA %
Antropogénico	3,894	19,84
Denudacional	12,3474	62,91
Estructural	2,8337	14,44
Fluvial	0,5488	2,81
TOTAL	19,6241	100

**Fuente:** Autor



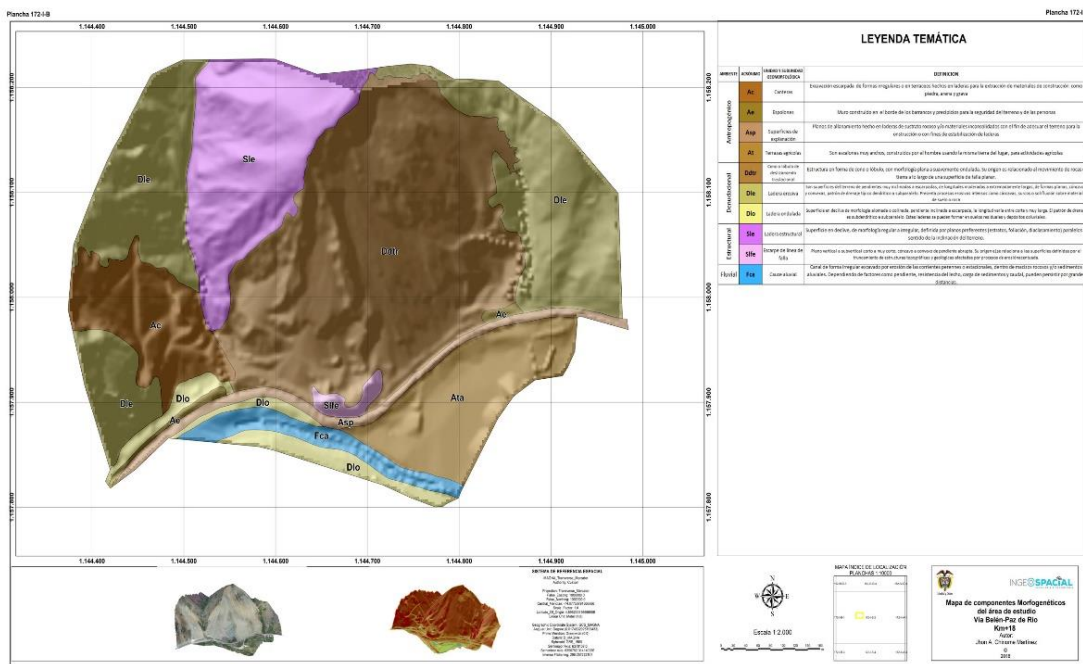
**Ilustración 19.** Distribución de ambientes Morfogénéticos en la zona de estudio



**Fuente:** Autor

Una vez categorizada el área de estudio en los cuatro ambientes morfogenéticos se realizó la delimitación y clasificación de componentes o elementos geomorfológicos teniendo en cuenta la escala de trabajo (1:2000), donde se identificaron componentes distribuidos en los diferentes ambientes morfogenéticos.

**Ilustración 20.** Mapa de elementos Morfogénéticos



**Fuente:** Autor

A continuación, se expone de manera detallada cada una de las subunidades geomorfológicas presentes la zona de estudio con su respectiva interpretación donde se tiene en cuenta el área de ocupación por ambiente en hectáreas (Ha), así como el área en porcentaje que abarca cada subunidad dentro del mismo ambiente. La descripción se realiza definiendo las geoformas por su origen y el orden se estableció por las áreas de ocupación en el área de estudio de mayor área a menor área, se inicia de la geoformas de origen Denudacional, luego las de origen Antropogénico, después las de origen Estructural y finalizan las geoformas de origen Fluvial.

#### 2.4.3.3.3 Geoformas de origen Denudacional

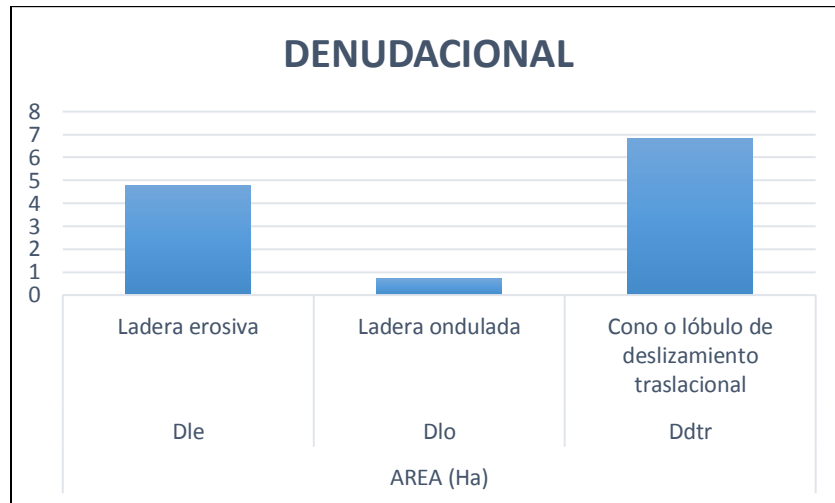
Incluye las geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que remodelan y dejan remanentes de las unidades preexistentes y de igual manera, crean nuevas por la acumulación de sedimentos (*Servicio Geológico Colombiano, 2015*)

**Tabla 11.** Elementos de ambiente denudacional

AMBIENTE	ACRÓNIMO	COMPONENTE	AREA (Ha)	AREA %
DENUACIONAL	Dle	Ladera erosiva	4,7829	38,74
	Dlo	Ladera ondulada	0,7277	5,89
	Ddtr	Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional	6,8368	55,37
TOTAL			12,3474	100

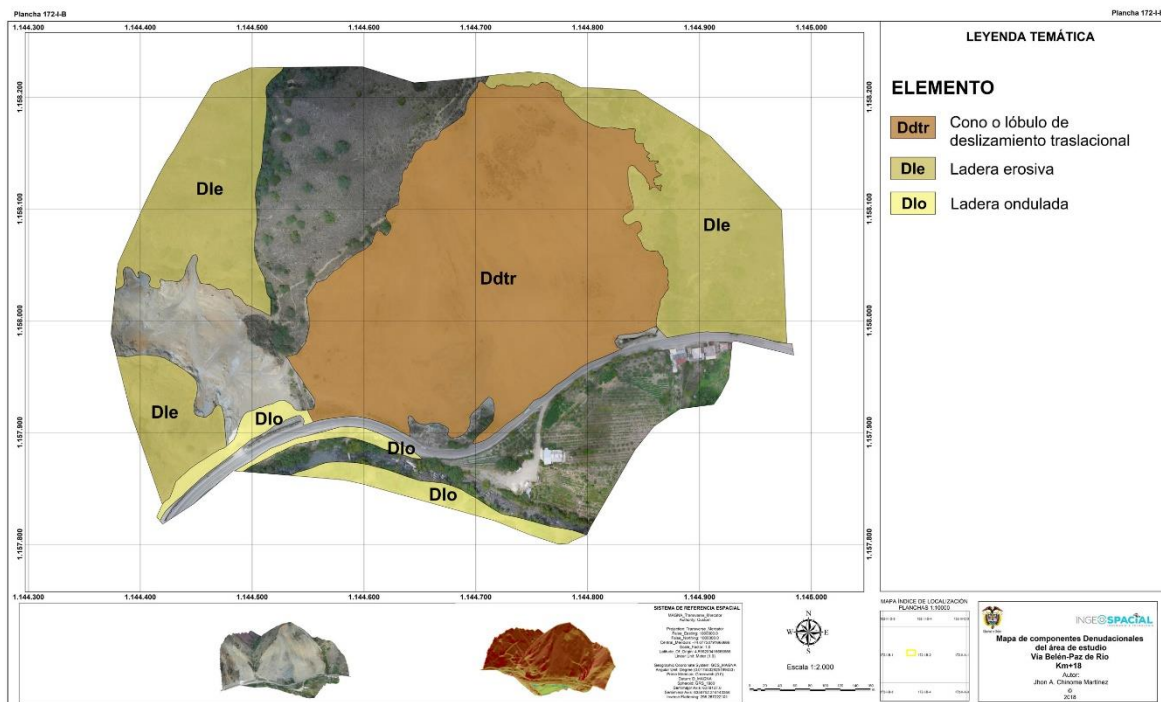
**Fuente:** Autor

**Ilustración 21.** Distribución de elementos del ambiente denudacional



Fuente: Autor

**Ilustración 22.** Mapa de elementos del ambiente denudacional



Fuente: Autor

### **Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional – Ddtr:**

Estructura en forma de cono o lóbulo con morfología alomada plana a suavemente ondulada. Su origen es relacionado al movimiento de rocas o tierra a lo largo de una superficie de falla más o menos planar. El movimiento es controlado por segmentos de debilidad asociados con planos de estratificación, zonas de alto fracturamiento o el contacto entre un plano rocoso y los detritos suprayacentes (*Servicio Geológico Colombiano, 2015*).

**Fotografía 14.** Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional en la zona de estudio



**Fuente:** Ingeospacial. Edición realizada por el autor.

### **Ladera erosiva – Dle:**

Corresponde a superficies del terreno de pendientes muy inclinadas a escarpadas, de longitudes moderadas a extremadamente largas, de formas planas, cóncavas y convexas, patrón de drenaje típico dendrítico a subparalelo. Presenta procesos erosivos intensos como cárcavas, surcos y solifluxión, sobre materiales de suelo o



roca. Estas laderas no necesariamente están asociadas a una geoforma mayor o una estructura (*Servicio Geológico Colombiano, 2015*).

**Fotografía 15.** Ladera erosiva en la zona de estudio



**Fuente:** Ingeospacial. Edición realizada por el autor.

### **Ladera Ondulada – Dlo:**

Superficie en declive de morfología alomada o colinada, pendiente inclinada a escarpada, la longitud varía entre corta y muy larga. El patrón de drenaje es subdendrítico a subparalelo. Estas laderas se pueden formar en suelos residuales y depósitos coluviales (*Servicio Geológico Colombiano, 2015*).

**Fotografía 16.** Ladera ondulada en la zona de estudio



**Fuente:** Ingeospacial. Edición realizada por el autor.

#### **2.4.3.3.4 Geoformas de origen Antropogénico**

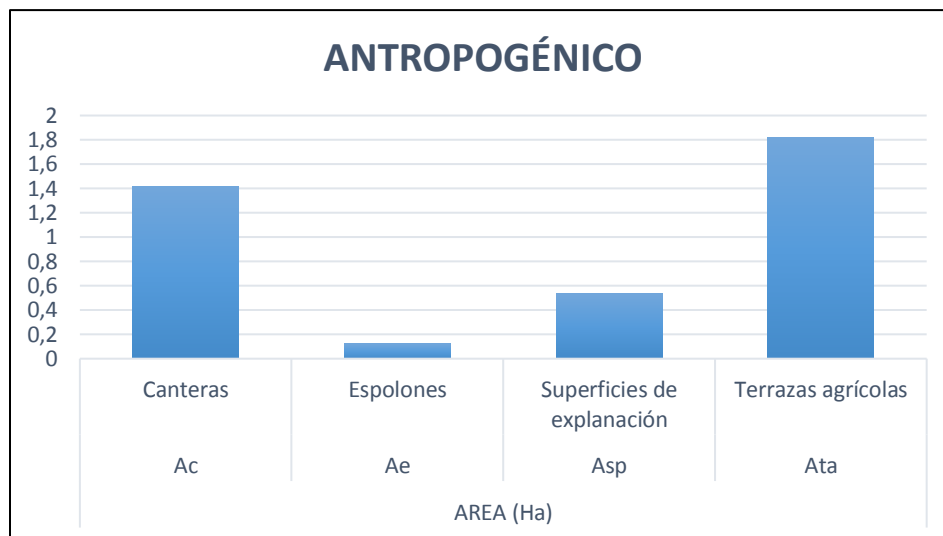
Incluye las geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, en la mayoría de los casos con el objetivo de realizar construcción de vivienda, obras de ingeniería, deposición de desechos o escombros y adecuación de nuevas vías, que modifica la morfología natural del terreno (*Servicio Geológico Colombiano, 2015*).

**Tabla 12.** Elementos de ambiente Antropogénico

AMBIENTE	ACRÓNIMO	COMPONENTE	AREA (Ha)	AREA %
ANTROPOGÉNICO	Ac	Canteras	1,4145	36,37
	Ae	Espolones	0,126	3,25
	Asp	Superficies de explanación	0,5321	13,68
	Ata	Terrazas agrícolas	1,8168	46,7
TOTAL			3,8942	100

**Fuente:** Autor

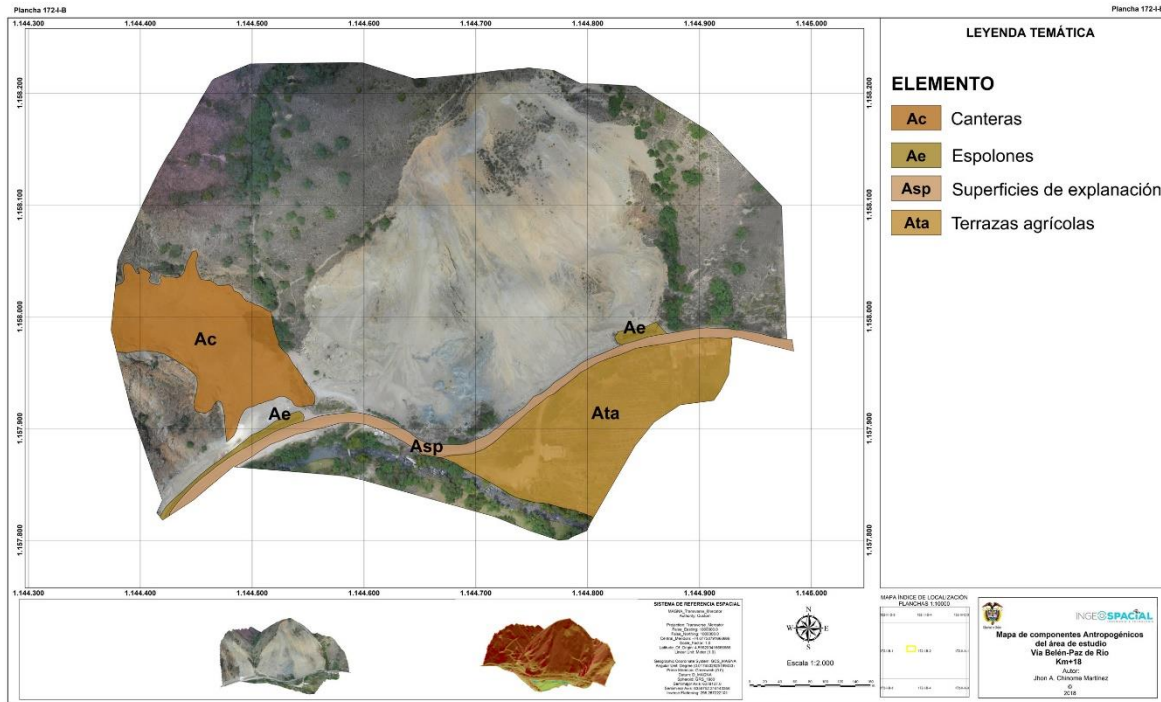
**Ilustración 23.** Distribución de elementos de ambiente Antropogénico



**Fuente:** Autor



**Ilustración 24.** Mapa de elementos de ambiente Antropogénico



**Fuente:** Autor

### **Canteras – Ac:**

Excavación escarpada con altura del orden decimétrico, de formas irregulares o en terracedos hechos en laderas para la extracción de materiales de construcción como piedra, arena y grava. Se incluyen en esta definición las excavaciones realizadas para la extracción de arcillas comúnmente llamadas chircales (*Servicio Geológico Colombiano, 2015*).



**Fotografía 17.** Canteras en la zona de estudio



**Fuente:** Ingeospacial. Edición realizada por el autor.

### **Espolones – Ae:**

Muro construido en la orilla de un río o del mar para contener las aguas; también se construye en el borde de los barrancos y precipicios para seguridad del terreno y de las personas (*Servicio Geológico Colombiano, 2015*).

**Fotografía 18.** Espolones en la zona de estudio



**Fuente:** Ingeospacial. Edición realizada por el autor.

### **Superficies de explanación – Asp:**

Planos de allanamiento en laderas de sustrato rocoso y/o materiales inconsolidados con el fin de adecuar el terreno para la construcción o con fines de estabilización de laderas, mediante la explanación o terraceos que disminuyen la pendiente del terreno (*Servicio Geológico Colombiano, 2015*).



**Fotografía 19.** Superficies de explanación en la zona de estudio



**Fuente:** Autor

### **Terrazas agrícolas – Ata:**

Son escalones muy anchos, contruidos por el hombre usando la misma tierra del lugar para actividades agrícolas. Las terrazas son hechas con el objeto de que suelos inclinados puedan usarse con cultivos agrícolas o plantaciones forestales, sin que la tierra sea arrastrada por el agua (*Servicio Geológico Colombiano, 2015*).



**Fotografía 20.** Terrazas agrícolas en la zona de estudio



**Fuente:** Ingeospacial. Edición realizada por el autor.

#### **2.4.3.3.5 Geoformas de origen Estructural**

Incluye las geoformas que se originan por procesos relacionados con la dinámica interna de la tierra, asociados principalmente al plegamiento y el fallamiento de las rocas, cuya expresión morfológica es definida por la tendencia y la variación en la resistencia de las unidades (*Servicio Geológico Colombiano, 2015*).

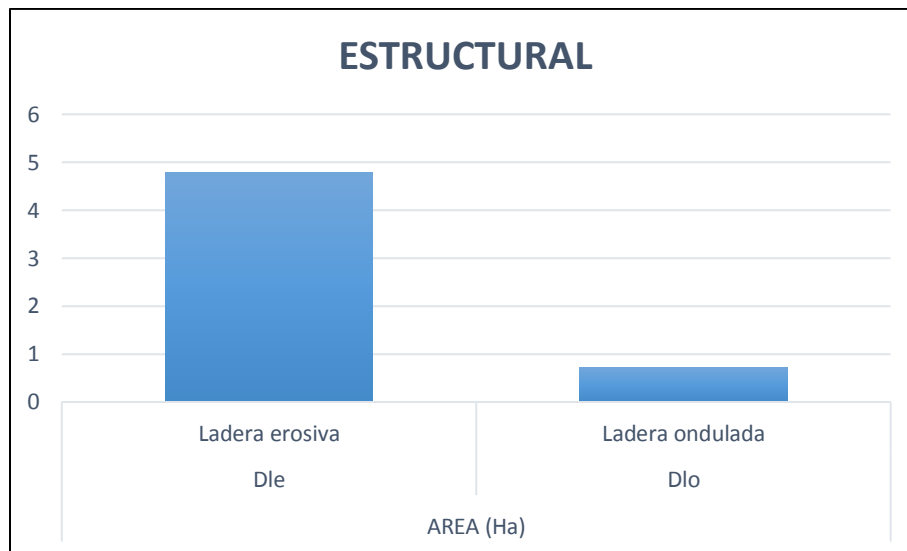


**Tabla 13.** Elementos de ambiente Estructural

AMBIENTE	ACRÓNIMO	COMPONENTE	AREA (Ha)	AREA %
ESTRUCTURAL	Sle	Ladera estructural	2,6872	94,83
	Slfe	Escarpe de línea de falla	0,1465	5,17
TOTAL			2,8337	100

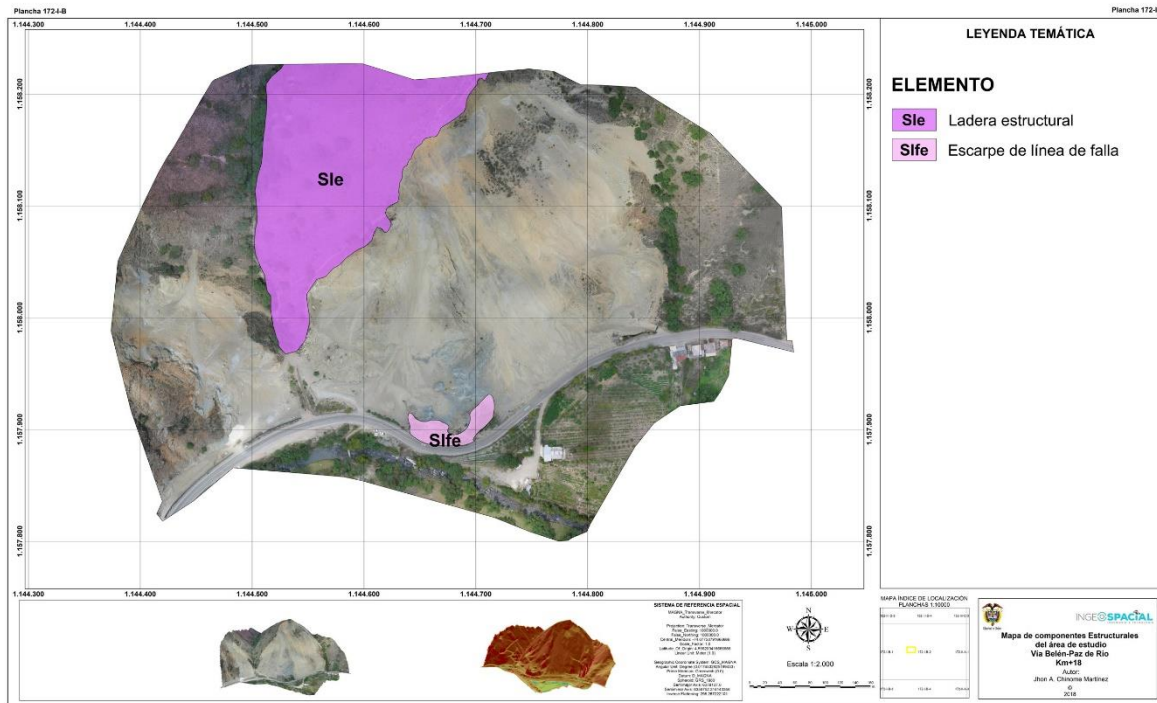
**Fuente:** Autor

**Ilustración 25.** Distribución de elementos ambiente Estructural



**Fuente:** Autor

**Ilustración 26.** Mapa de elementos de ambiente Estructural



**Fuente:** Autor

### **Ladera estructural – Sle:**

Superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por plano preferentes (estratos, foliación, diaclasamiento entre otros) paralelos al sentido de la inclinación del terreno. Puede presentarse con longitud larga a extremadamente larga y con pendientes suavemente inclinadas a escarpadas. En esta geoforma los datos estructurales no permiten establecer una asociación con alguna estructura de tipo regional (anticlinal, sinclinal, homoclinal, monoclinal entre otros) (*Servicio Geológico Colombiano, 2015*).

**Fotografía 21.** Ladera estructural en la zona de estudio



**Fuente:** Ingeospacial. Edición realizada por el autor.

### **Escarpe de línea de falla – Slfe:**

Plano vertical a subvertical corto a muy corto, cóncavo a convexo de pendiente abrupta. Su origen se relaciona a las superficies definidas por el truncamiento de estructuras topográficas y geológicas afectadas por procesos de erosión acentuada (*Servicio Geológico Colombiano, 2015*).



**Fotografía 22.** Escarpe de línea de falla en la zona de estudio



**Fuente:** Ingeospacial. Edición realizada por el autor.

#### **2.4.3.3.6 Geoformas de origen Fluvial**

Incluye las geoformas que se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca. De esta manera, es posible encontrar unidades aledañas a ríos, quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre (*Servicio Geológico Colombiano, 2015*).

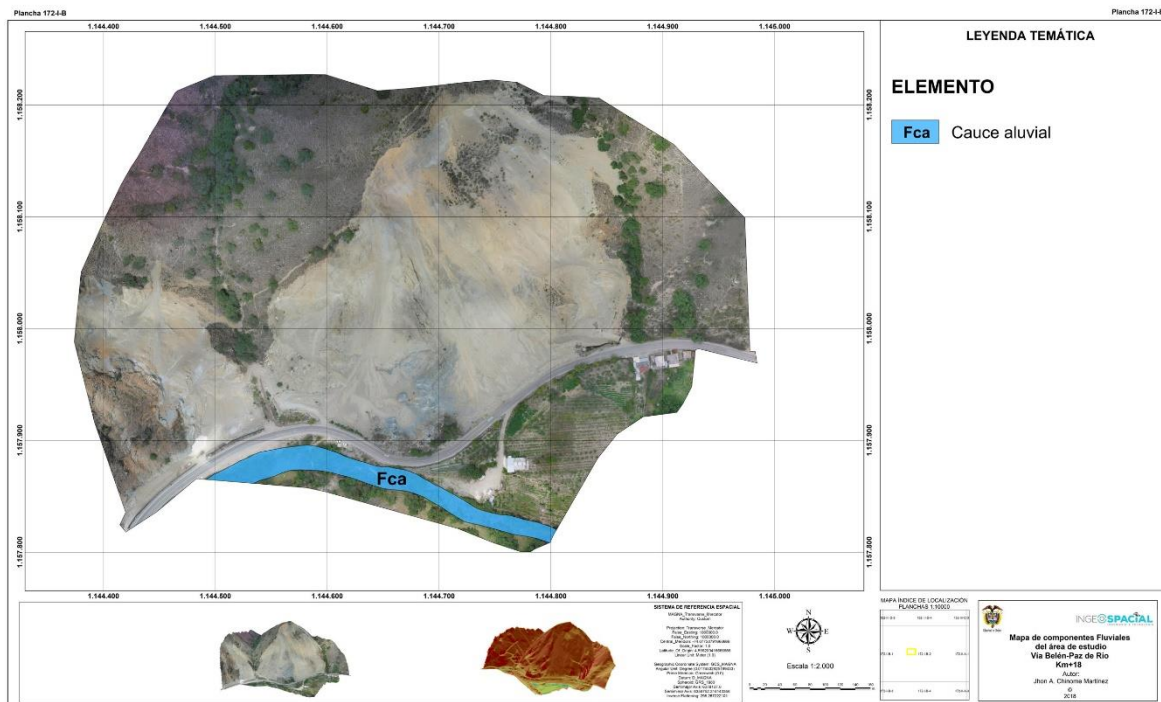


**Tabla 14.** Elementos de ambiente Fluvial

AMBIENTE	ACRÓNIMO	COMPONENTE	AREA (Ha)	AREA %
FLUVIAL	Fca	Cauce aluvial	0,5488	100
TOTAL			0,5488	100

**Fuente:** Autor

**Ilustración 27.** Mapa de elementos de ambiente Fluvial



**Fuente:** Autor

### Cauce aluvial – Fca:

Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales. Dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias. Los cauces rectos se restringen a valles estrechos en forma de V, generalmente relacionados al control estructural de fallas o diaclasas. Estos cauces cuando recorren grandes distancias pueden formar lagunas y rápidos. Cuando las corrientes fluyen en zonas semiplanas a planas (llanura aluvial), los cauces son de tipo meándrico o divagante, como producto del

cambio súbito de la dirección del flujo. Dependiendo la cantidad de carga de sedimentos, la pendiente y caudal pueden llegar a formar sistemas anastomosados, trezados, divagantes y otras unidades asociadas.

**Fotografía 23.** Cauce aluvial en la zona de estudio



**Fuente:** Ingeospacial. Edición realizada por autor.

#### 2.4.3.4 Mapa de amenaza relativa por ocurrencia de movimientos en masa

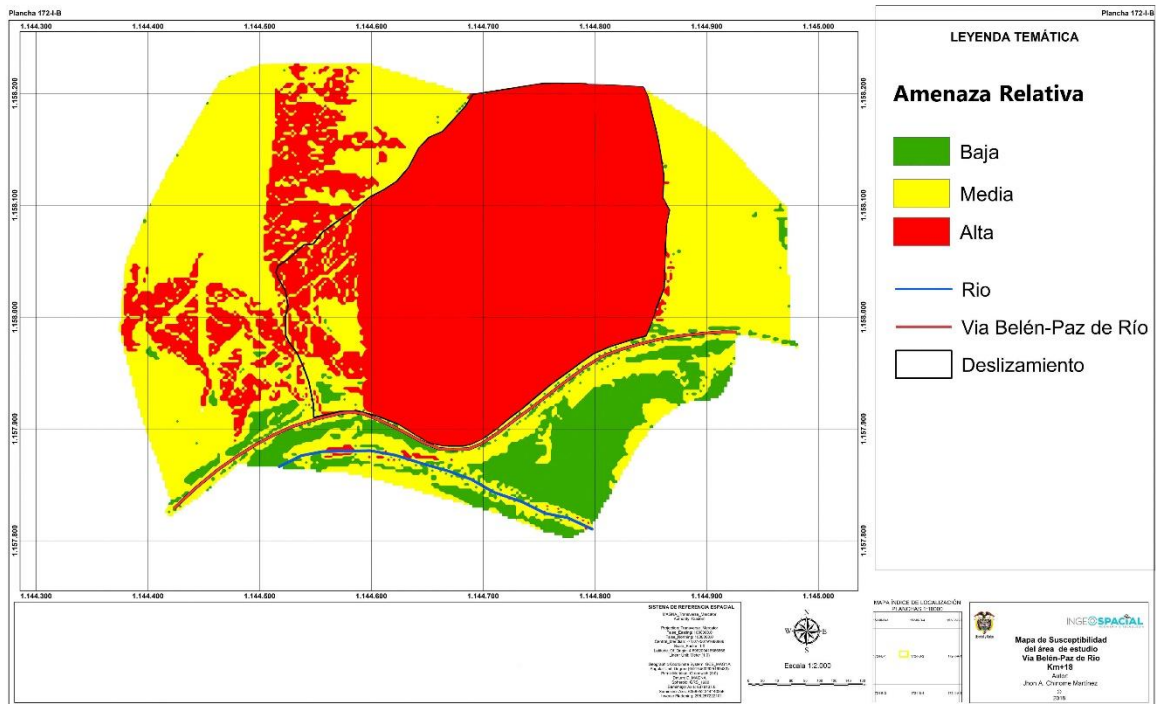
Este mapa se obtiene por el cruce de mapas temáticos de morfometría, morfodinámica y morfogénesis con la siguiente ecuación mediante la herramienta MapAlgebra-Raster Calculator en el software ArcGis 10.3  $((\text{Morfometría} \times 0.4) + (\text{Morfodinámica} \times 0.3) + (\text{Morfogénesis} \times 0.3))$  y el resultado final es categorizado con la descripción que se encuentra en la **Tabla 15**.

**Tabla 15.** Categorías de amenaza relativa por ocurrencia de movimientos en masa

CONVENCION	AMENAZA RELATIVA POR OCURRENCIA DE MOVIMIENTOS EN MASA	DESCRIPCIÓN
	Baja	Zonas relativamente estables en donde no se observan procesos denudacionales severos, pero su estabilidad depende del manejo que se les dé a las mismas y de la estabilidad de las laderas adyacentes. Corresponden en general a los lomos de las divisorias de aguas con pendientes bajas a moderadas. En estas zonas se requiere tener mucha precaución con el manejo de aguas superficiales, las excavaciones, los rellenos y el control de los procesos de inestabilidad y focos erosivos que se pueden generar en laderas adyacentes.
	Media	Zonas de estabilidad marginal susceptibles a procesos denudacionales por el mal manejo del terreno y de las aguas superficiales. En caso de lluvias extraordinarias o efectos sísmicos superficiales fuertes, en ellas podrían generarse deslizamientos que eventualmente afectarían áreas mayores. El mantenimiento o construcción de cualquier estructura dentro de estas zonas requiere el diseño detallado de medidas preventivas, correctivas o del control de deslizamientos.
	Alta	Zonas inestables afectadas por procesos denudativos como cárcavamiento profundo en caños y quebradas, en donde es común encontrar cicatrices de antiguos deslizamientos. El mal manejo de aguas superficiales y en general del suelo pueden acelerar la profundización y extensión de las cárcavas y deslizamientos. La construcción y mantenimiento de obras requieren el diseño detallado de medidas preventivas, correctivas o de control de deslizamientos y resultan costosas.

**Fuente:** Servicio Geológico Colombiano.

**Ilustración 28.** Mapa de amenaza relativa por ocurrencia de Movimientos en Masa



**Fuente:** Autor

Como se observa en el mapa y según las categorías presentadas en la **Tabla 15** la zona del deslizamiento tiene una amenaza alta donde es proclive a sufrir procesos denudativos intensos y la hace propensa la ocurrencia de movimientos en masa, ante un evento sísmico o un periodo de altas precipitaciones la zona que está marcada con rojo puede fallar y ocurrir un deslizamiento afectando la vía Belén-Paz de Río y con alta posibilidad de pérdidas humanas.



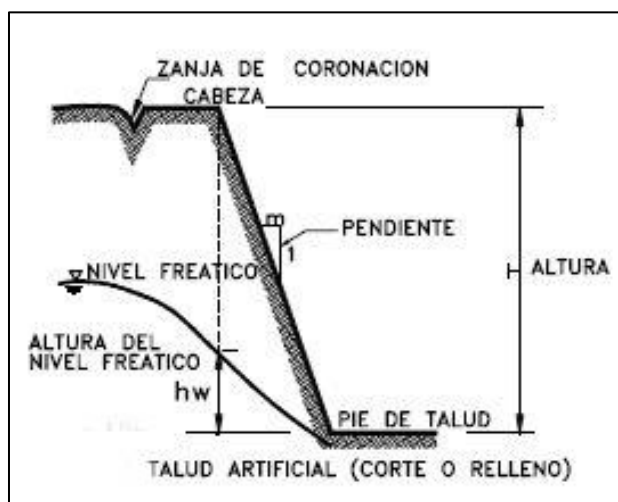
### 3. CARACTERIZACIÓN DEL DESLIZAMIENTO

Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra debido a que generalmente, se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como son la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas (Jaime Suarez Díaz, 1998).

#### 3.1 NOMENCLATURA DE UN TALUD O LADERA

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente. Para el caso de nuestra zona de estudio tendremos un talud debido a que ha sido intervenido por la mano del hombre.

**Ilustración 29.** Nomenclatura de un talud



**Fuente:** Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales, Jaime Suarez Díaz, 1998.

En el talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

#### 1. Altura

Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.

#### 2. Pie

Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.

### 3. Cabeza o escarpe

Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

### 4. Altura de nivel freático

Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.

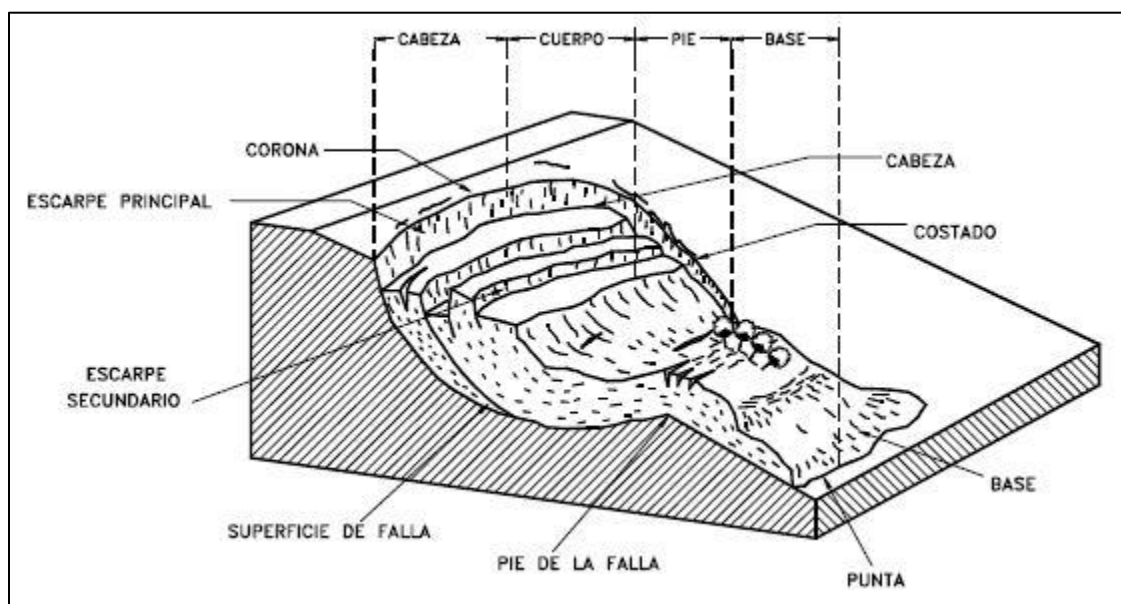
### 5. Pendiente

Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación  $m/1$ , en la cual  $m$  es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.

## 3.2 NOMENCLATURA DE LOS PROCESOS DE MOVIMIENTO

Los procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas corresponden generalmente, a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforman un talud de roca, suelo natural o relleno, o una combinación de ellos. Los movimientos ocurren generalmente, a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos. Algunos segmentos del talud o ladera pueden moverse hacia arriba, mientras otros se mueven hacia abajo (*Jaime Suarez Díaz, 1998*).

**Ilustración 30.** Nomenclatura de un deslizamiento



**Fuente:** Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales, Jaime Suarez Díaz, 1998.

En la figura **Ilustración 30** se muestra un deslizamiento o movimiento en masa típico, con sus diversas partes cuya nomenclatura es la siguiente:

### **1. Escarpe principal**

Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla.

### **2. Escarpe secundario**

Una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.

### **3. Cabeza**

Las partes superiores del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

### **4. Cima**

El punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

### **5. Corona**

El material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.

### **6. Superficie de falla**

Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.

### **7. Pie de la superficie de falla**

La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

### **8. Base**

El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

### **9. Punta o uña**

El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.

### **10. Costado o flanco**

Un lado (perfil lateral) del movimiento.

## **11. Superficie original del terreno**

La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

## **12. Derecha e izquierda**

Para describir un deslizamiento se prefiere usar la orientación geográfica, pero si se emplean las palabras derecha e izquierda debe referirse al deslizamiento observado desde la corona mirando hacia el pie.

### **3.3 DIMENSIONES DE UN MOVIMIENTO**

Para definir las dimensiones de un movimiento se utiliza la terminología recomendada por el IAEG (**Ilustración 31**):

#### **1. Ancho de la masa desplazada $Wd$**

Ancho máximo de la masa desplazada perpendicularmente a la longitud,  $Ld$ .

#### **2. Ancho de la superficie de falla $Wr$**

Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud  $Lr$ .

#### **3. Longitud de la masa deslizada $Ld$**

Distancia mínima entre la punta y la cabeza.

#### **4. Longitud de la superficie de falla $Lr$**

Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.

#### **5. Profundidad de la masa desplazada $Dd$**

Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por  $Wd$  y  $Ld$ .

#### **6. Profundidad de la superficie de falla $Dr$**

Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por  $Wr$  y  $Lr$ .

#### **7. Longitud total $L$**

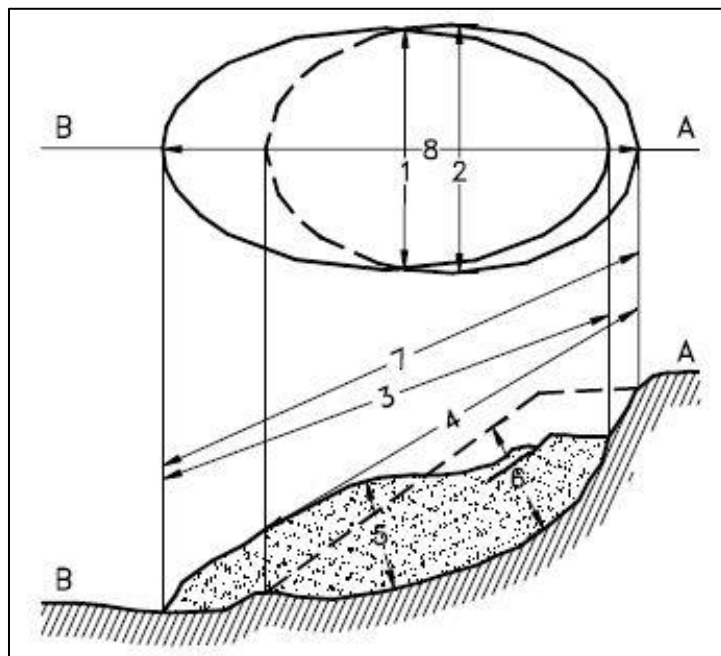
Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.

#### **8. Longitud de la línea central $Lc$**

Distancia desde la punta o uña hasta la corona del deslizamiento a lo largo de puntos sobre la superficie original equidistantes de los bordes laterales o flancos.



**Ilustración 31.** Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG Commission on Landslides (1990).



**Fuente:** Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales, Jaime Suarez Díaz, 1998.

### 3.4 CLASIFICACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA

Para la clasificación de los movimientos en masa se presenta el sistema propuesto originalmente por *Varnes (1978)*, el cual tipifica los principales tipos de movimiento.

#### **Deslizamiento**

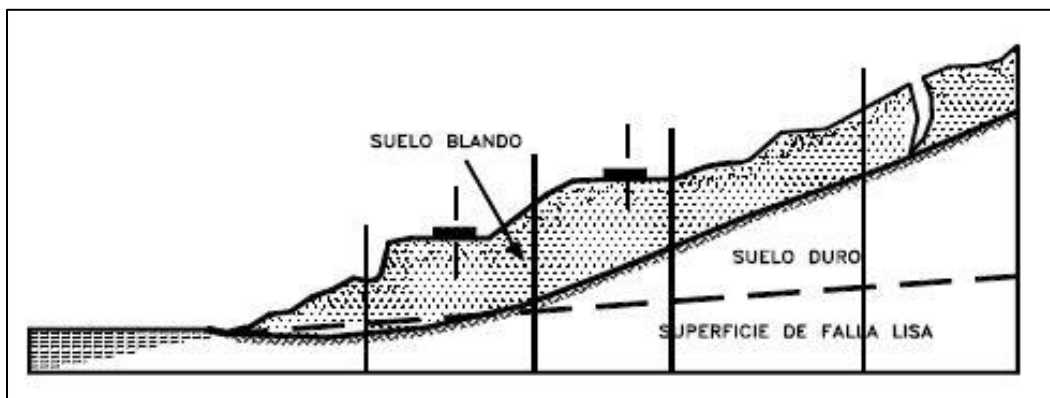
Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada. El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda, la que sería, la superficie de falla. Los deslizamientos pueden ser de una sola masa que se mueve o pueden comprender varias unidades o masas semi-independientes. Los deslizamientos pueden obedecer a procesos naturales o a desestabilización de masas de tierra por el efecto de cortes, rellenos, deforestación, etc.

El deslizamiento de este proyecto se clasificó como un deslizamiento traslacional de manera que es el único que se define a continuación.

## Deslizamiento Traslacional

En el deslizamiento de traslación el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. Los movimientos traslacionales tienen generalmente, una relación  $Dr/Lr$  de menos de 0.1. La diferencia importante entre los movimientos de rotación y traslación está principalmente, en la aplicabilidad o no de los diversos sistemas de estabilización. Sin embargo, un movimiento de rotación trata de autoestabilizarse, mientras uno de traslación puede progresar indefinidamente a lo largo de la ladera hacia abajo. Los movimientos de traslación son comúnmente controlados por superficies de debilidad tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación y zonas de cambio de estado de meteorización que corresponden en términos cuantitativos a cambios en la resistencia al corte de los materiales o por el contacto entre la roca y materiales blandos o coluviones. En muchos deslizamientos de traslación la masa se deforma y/o rompe y puede convertirse en flujo. Los deslizamientos sobre discontinuidades sencillas en roca se les denomina deslizamientos de bloque, cuando ocurren a lo largo de dos discontinuidades se le conoce como deslizamiento de cuña y cuando se presentan sobre varios niveles de una familia de discontinuidades se le puede denominar falla en escalera.

**Ilustración 32.** Deslizamiento traslacional



**Fuente:** Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales, Jaime Suarez Díaz, 1998.

**Ilustración 33.** Deslizamiento traslacional en la zona de estudio



**Fuente:** Ingeospacial. Edición realizada por el autor.

### **3.5 CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO**

Adicionalmente al tipo de movimiento es importante definir las características que posee en cuanto a secuencia, estado de actividad, estilo, velocidad, humedad, y material.

#### **3.5.1 Tipo de Material**

Los términos siguientes han sido adoptados como descripción de los materiales que componen un determinado movimiento del talud.

##### **a. Roca**

Se denomina “Roca” a la roca dura y firme que estaba intacta en su lugar antes de la iniciación del movimiento.

## b. Residuos

Se denomina con el nombre de Residuos o “Detritos” al suelo que contiene una significativa proporción de material grueso. Se considera que, si más del 20% del material en peso es mayor de 2 milímetros de diámetro equivalente, debe llamarse como Residuos. Por lo general, deben existir partículas mucho mayores de 2 milímetros para que pueda considerarse de este modo.

## c. Tierra

Se denomina tierra, al material de un deslizamiento que contiene más del 80% de las partículas menores de 2 milímetros. Se incluyen los materiales desde arenas a arcillas muy plásticas.

Se observa en la **Fotografía 24** más del 20% del suelo tiene más de 2mm de diámetro por lo cual se considera residuos, estos detritos están compuestos en un 70% de cuarzo donde también se encuentran minerales secundarios como albita, ortoclasa y minerales de alteración como la clorita, moscovita y sericita provenientes de la Formación Cataclasitas de Soapaga (Dc?s) soportados por una matriz arcillosa poco consolidada.

**Fotografía 24.** Tipo de material presente en el deslizamiento



**Fuente:** Autor



### 3.5.2 Humedad

Se proponen cuatro términos para definir las condiciones de humedad así:

- a. Seco:** No contiene humedad “visible”.
- b. Húmedo:** Contiene algo de agua, pero no posee agua (corriente) libre y puede comportarse como un sólido plástico, pero no como un líquido.
- c. Mojado:** Contiene suficiente agua para comportarse en parte como un líquido y posee cantidades visibles de agua que pueden salir del material.
- d. Muy mojado:** Contiene agua suficiente para fluir como líquido, aún en pendientes bajas.

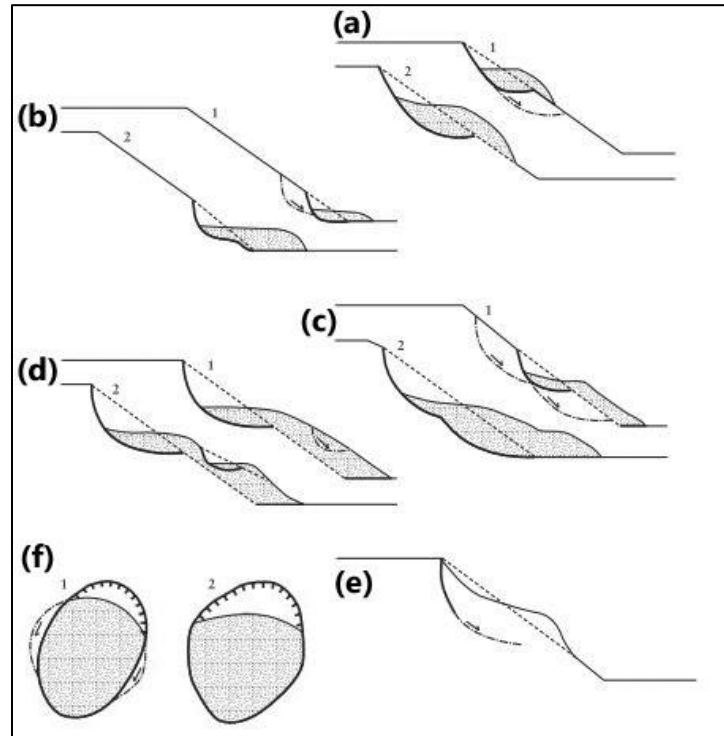
El deslizamiento se encuentra en estado húmedo ya que no posee corrientes de agua libre, pero contiene humedad no visible debido a que el suelo retiene agua durante las precipitaciones y no toda el agua se evapora.

### 3.5.3 Secuencia de Repetición

La secuencia se refiere a movimientos que inician en un área local y progresan o se repiten en una determinada dirección *Varnes (1978)* recomienda utilizar la siguiente terminología:

- a. Progresivo:** La superficie de falla se extiende en la misma dirección del movimiento.
- b. Retrogresivo:** La superficie de falla se extiende en dirección opuesta al movimiento.
- c. Ampliándose:** La superficie de falla se extiende hacia una u otra de las márgenes laterales.
- d. Alargándose:** La superficie de falla se alarga agregando continuamente volumen de material. desplazado. La superficie de falla puede alargarse en una o más direcciones. El término alargándose puede utilizarse indistintamente con el término progresivo.
- e. Confinado:** Se refiere a movimientos que tienen un escarpe visible pero no tienen superficie de falla visible en el pie de la masa desplazada.
- f. Disminuyendo:** El volumen de material siendo desplazado, disminuye con el tiempo.

**Ilustración 34.** Clasificación de secuencia de repetición



**Fuente:** Mass Movements in Great Britain, Geological Conservation Review Series, No. 33, Joint Nature Conservation Committee, Peterborough

Cuando la tensión inducida por los factores detonantes alcanza la resistencia máxima a cortante del material, comienza a desarrollarse una superficie de deslizamiento en la pendiente. Este tipo de deslizamiento no se puede estudiar como un evento único y estático puesto que las condiciones y parámetros de un deslizamiento pueden variar de un momento a otro y los valores de la resistencia al corte del material pueden ser muy diferentes en las distintas fases del deslizamiento.

Se observa en la **Fotografía 25** la dirección del deslizamiento a favor de la pendiente de Norte a Sur y la superficie de falla en la misma dirección siendo clasificado como un deslizamiento progresivo.

**Fotografía 25.** Deslizamiento progresivo en la zona de estudio



**Fuente:** Ingeospacial. Edición realizada por el autor.

### 3.5.4 Velocidad del Movimiento

En la **Tabla 16** se indica la escala de velocidades de movimientos propuestas por el *Transportation Research Board* de los Estados Unidos, la cual se puede considerar como escala única de rata de movimiento. En algunos casos, ocurren velocidades diferentes de los diversos modos de movimiento y se requiere definir cada uno de ellos. La velocidad del movimiento tiene gran influencia sobre el poder destructivo de un deslizamiento. Generalmente, los deslizamientos extremadamente rápidos corresponden a catástrofes de gran violencia, ocasionalmente con muchos muertos y cuyo escape es poco probable. Por otro lado, los movimientos extremadamente lentos son imperceptibles sin instrumentos y representan, en general un riesgo muy bajo de pérdida de vidas humanas.

**Tabla 16.** Velocidad de los movimientos (Adaptado de Cruden, Varnes - 1996)

CLASE	DESCRIPCIÓN	VELOCIDAD (mm/seg)	DESPLAZAMIENTO	PODER DESTRUCTOR
7	Extremadamente rápido	$> 5 \times 10^3$	$> 5$ m/seg	Catástrofe de violencia mayor; edificios destruidos por el impacto o el material desplazado, muchas muertes; escape improbable
6	Muy rápida	$5 \times 10^3$	5 m/seg	Alguna pérdida de vidas, velocidad demasiado alta para permitir a todas las personas escapar
5	Rápida	$5 \times 10^1$	3 m/min	Escape posible; estructuras, propiedades y equipos destruidos
4	Moderada	$5 \times 10^{-1}$	1.8 m/hora	Algunas estructuras temporales y poco sensitivas pueden mantenerse temporalmente
3	Lenta	$5 \times 10^{-3}$	13 m/mes	Construcciones remediales pueden llevarse a cabo durante el movimiento. Algunas estructuras insensitivas pueden mantenerse con el movimiento frecuente
2	Muy lenta	$5 \times 10^{-5}$	1.6 m/año	Algunas estructuras permanentes no son dañadas por el movimiento
1	Extremadamente lenta	$5 \times 10^{-7}$	16 mm/año	Imperceptible sin instrumentos; construccion posible pero deben tenerse precauciones

**Fuente:** Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales, Jaime Suarez Díaz, 1998.

La velocidad del deslizamiento es clasificada como muy lenta debido a que no se mueve más de 2 metros al año, lo anterior si las precipitaciones no son muy altas ya que el deslizamiento no cuenta con manejo de aguas superficiales y si ocurre de nuevo una sobrecarga de agua en la parte alta del deslizamiento este se puede reactivar y posteriormente taponar de nuevo la vía Belén-Paz de Río.

### 3.5.5 Estilo

*Varnes* estableció una nomenclatura de actividad de deslizamiento cuando aparecen conjuntamente diferentes tipos de movimiento:

**a. Complejo:** Un deslizamiento complejo es aquel que tiene al menos dos tipos de movimiento, por ejemplo, inclinación y deslizamiento.



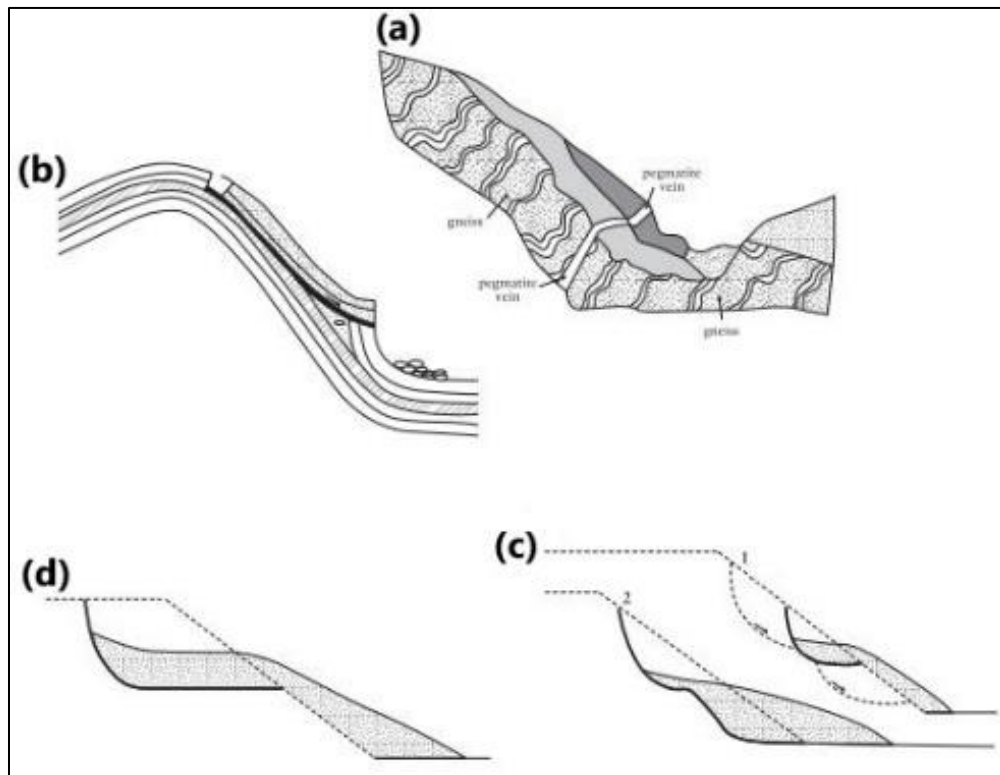
**b. Compuesto:** El término compuesto corresponde al caso en el cual ocurren simultáneamente varios tipos de movimiento en diferentes áreas de la masa desplazada.

**c. Múltiple:** Se denomina como múltiple un deslizamiento que muestra movimientos repetidos del mismo tipo, generalmente, ampliando la superficie de falla. Un movimiento sucesivo corresponde a movimientos repetidos pero que no comparten la misma superficie de falla.

**d. Sencillo**

Corresponde a un solo tipo de movimiento.

**Ilustración 35.** Clasificación de estilo



**Fuente:** Mass Movements in Great Britain, Geological Conservation Review Series, No. 33, Joint Nature Conservation Committee, Peterborough.

El deslizamiento tiene un estilo compuesto ya que presenta varios tipos de movimiento en la masa desplazada como lo son el deslizamiento propio, flujo de residuos (detritos) y caídos.

**Fotografía 26.** Deslizamiento compuesto en la zona de estudio

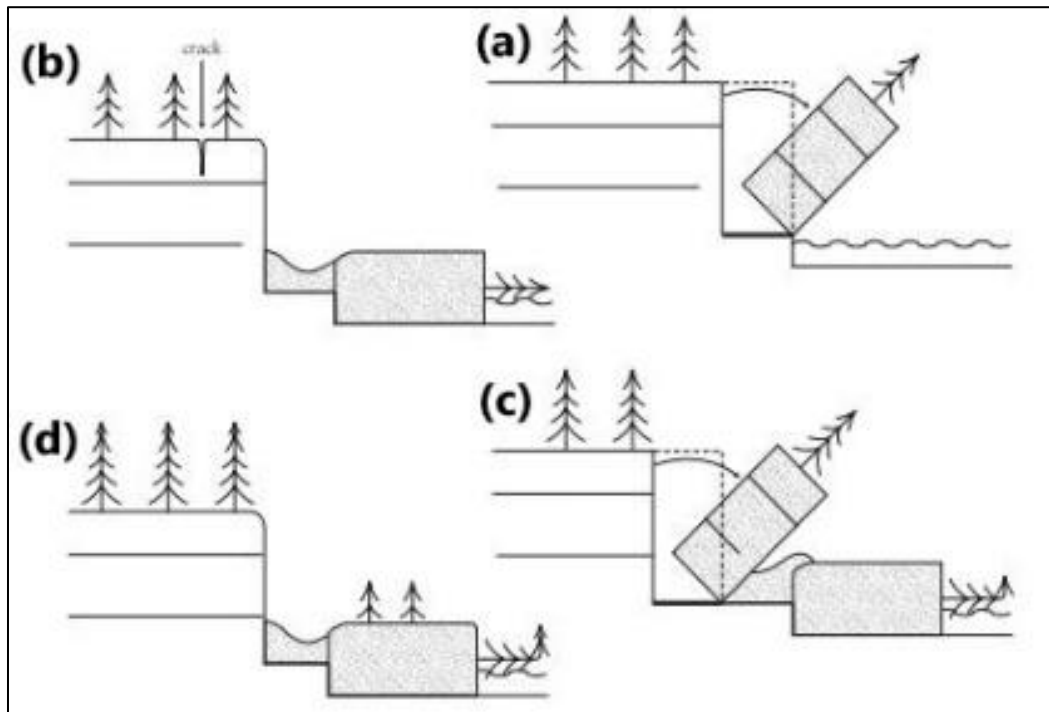


**Fuente:** Ingeospacial. Edición realizada por el autor.

### 3.5.6 Estado de actividad

- a. Activo:** Deslizamiento que se está moviendo en los actuales momentos.
- b. Reactivado:** Movimiento que está nuevamente activo, después de haber estado inactivo. Por ejemplo, deslizamientos reactivados sobre antiguas superficies de falla.
- c. Suspendido:** Deslizamientos que han estado activos durante los últimos ciclos estacionales pero que no se está moviendo en la actualidad.
- d. Inactivo:** Deslizamientos que llevan varios ciclos estacionales sin actividad.

**Ilustración 36.** Clasificación estado de actividad



**Fuente:** Mass Movements in Great Britain, Geological Conservation Review Series, No. 33, Joint Nature Conservation Committee, Peterborough

Actualmente el deslizamiento se encuentra suspendido y su último periodo de actividad fue en 2015. Este estado de actividad exige tomar medidas de control o mitigación del principal factor detonante (precipitaciones) y así evitar la reactivación del deslizamiento. En la **Fotografía 27** se observa en la parte alta del movimiento una masa de gran tamaño que en una eventual reactivación del movimiento puede ocasionar el taponamiento de la vía Belén-Paz de Río.



**Fotografía 27.** Estado de actividad del deslizamiento



**Fuente:** Ingeospacial. Edición realizada por el autor.

### 3.5.7 Estructura Geológica

La formación geológica del sitio del movimiento es un factor determinante en el mecanismo de falla y en el comportamiento de un movimiento en un talud, especialmente en ambientes tropicales de montaña donde la textura y estructura geológica definen por lo general, la ocurrencia de fallas en los taludes.

El perfil de meteorización de materiales ígneo-metamórficos con las características de cada uno de los grados de meteorización presentes en el deslizamiento se puede observar en la **Ilustración 37**. Las rocas ígneas intrusivas ácidas (con gran contenido de cuarzo) como el granito, forman perfiles profundos, areno arcillosos.

La formación geológica donde ocurrió el movimiento es la Formación Cataclasitas de Soapaga (Dc?s) la cual está compuesta con un conjunto de Granitos brechados y está descrita de manera detallada en el capítulo del **Marco Geológico**.



El perfil de meteorización es la secuencia de zonas, con diferentes propiedades físicas, y se encuentran en el mismo lugar donde la roca madre fue alterada. Generalmente, los perfiles de los suelos residuales se componen de zonas de diferente grado de meteorización que van desde el suelo propiamente dicho hasta la roca sana.

El perfil de meteorización es producción de la interacción de cinco factores modificadores, los cuales cambian horizontalmente, por lo cual el perfil de meteorización puede variar en distancias relativamente cortas.

La clasificación utilizada para este perfil de meteorización es la **de DEERE Y PATTON (1971)** y se subdivide de esta manera:

□ **Zona I;** de suelo residual subdividido en:

- Zona I-A; coluvión, generalmente con presencia de materia orgánica;
- Zona I-B; suelo maduro, suelo está constituido por minerales secundarios y primarios que resistieron la meteorización, presenta gradación variable y no tiene ninguna herencia de su roca de origen, siendo su comportamiento similar al de un suelo sedimentario. Se trata principalmente de un suelo homogéneo con estructura porosa;

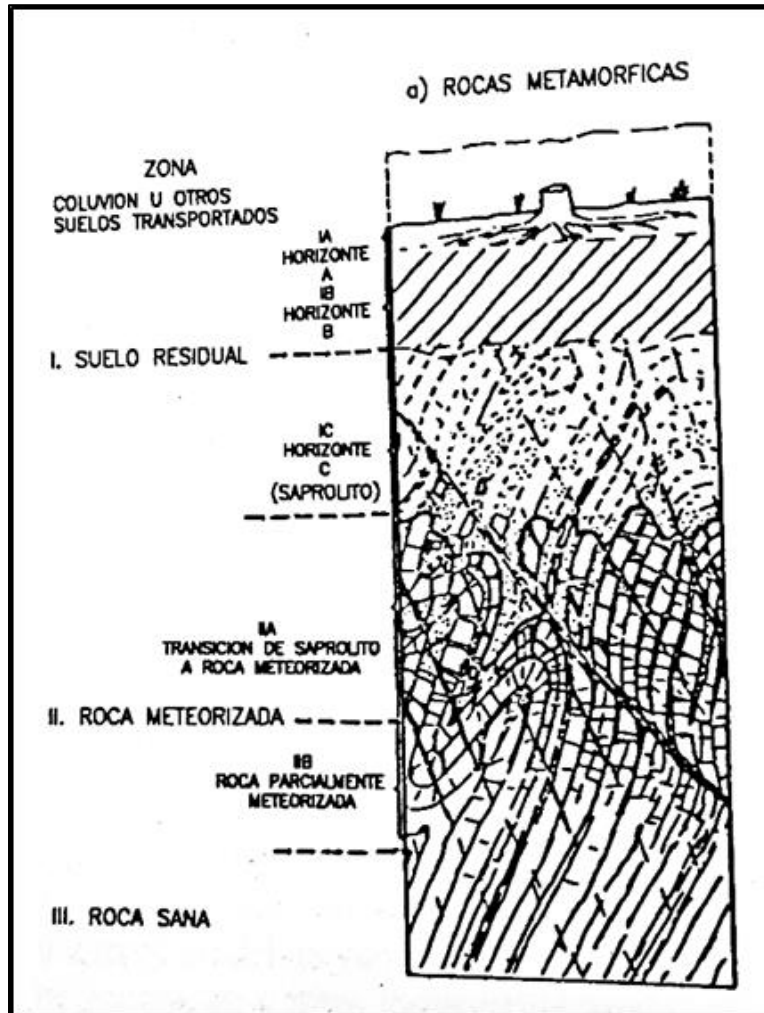
Zona I-C; suelo de alteración de roca (saprolito), el suelo está constituido por minerales primarios y secundarios, que tiene estructuras heredadas de la roca original. Puede tener bloques rocosos intactos en su masa.

□ **Zona II;** de roca alterada, subdividido en:

- Zona II-A; de transición entre el saprolito y la roca alterada, con características extremadamente heterogéneas, presenta variaciones sensibles en diversas propiedades físicas y mecánicas.
- Zona II-B; de roca alterada, en donde la roca mantiene su estructura original, presentando alteraciones en las propiedades físico-químicas como coloración, permeabilidad y resistencia, presentando zonas descompuestas, especialmente junto a las discontinuidades.

□ **Zona III;** de roca esencialmente sana, sectores del macizo donde aún no ha sido afectada por la meteorización. Los minerales no presentan signos de haber sufrido alteración.

**Ilustración 37.** Perfil de meteorización en materiales metamórficos



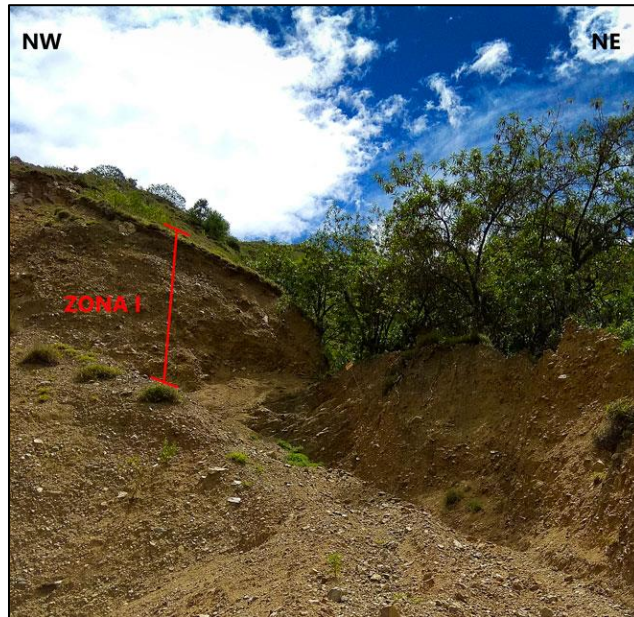
**Fuente:** Clasificación DEERE Y PATTON, 1978.

## PERFIL DE METEORIZACION REALIZADO EN CAMPO

□ **Zona I;** de suelo residual subdividido en:

- Zona I-A; Coluvión, suelo de color marrón con presencia de materia orgánica y presencia es pequeños arbustos.

**Fotografía 28.** Zona I-A del perfil de meteorización en la zona del deslizamiento



**Fuente:** Autor

- Zona I-B; Suelo areno arcilloso de color marrón con presencia de clastos de diferentes tamaños y angulares constituidos por minerales secundarios y primarios que resistieron a la meteorización.

**Fotografía 29.** Zona I-B del perfil de meteorización en la zona del deslizamiento



**Fuente:** Autor



- Zona I-C; suelo de alteración de roca (saprolito), se observa un suelo areno arcilloso con una gran presencia de detritos de cuarzo y minerales secundarios como la ortoclasa y la albita, también hay presencia de bloques de roca intactos de color verdoso.

**Fotografía 30.** Zona I-C del perfil de meteorización en la zona del deslizamiento



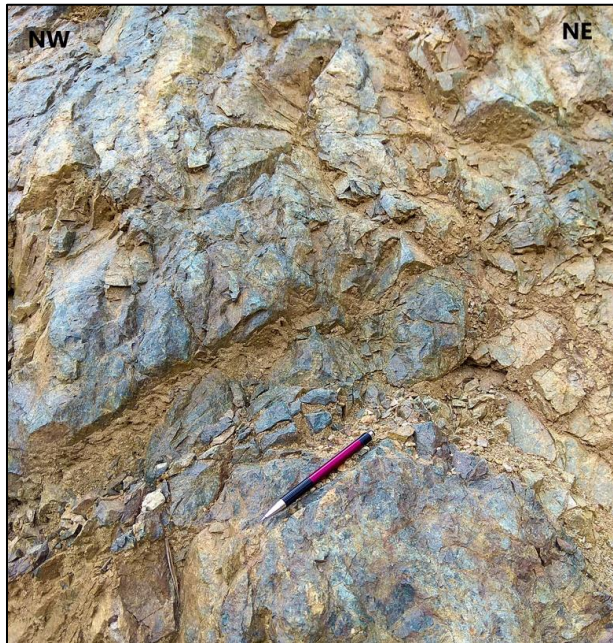
**Fuente:** Autor

□ **Zona II;** de roca alterada, subdividido en:

- Zona II-A; transición entre el saprolito y la roca alterada, roca compacta y dura poco fracturada y meteorizada de color verde oscuro a amarillo verdoso.



**Fotografía 31.** Zona II-A del perfil de meteorización en la zona del deslizamiento



**Fuente:** Autor

- Zona II-B; roca alterada, se observa una roca fracturada lajosa y frágil producto de la meteorización a la que ha sido expuesta de color verde oscuro a café claro con oxidación producto de cambios físico-químicos y con algunas zonas descompuestas junto a las discontinuidades.

**Fotografía 32.** Zona II-A del perfil de meteorización en la zona del deslizamiento



**Fuente:** Autor

□ **Zona III**; roca esencialmente sana, roca muy dura compacta de color verde claro y sin mayores afectaciones por la meteorización.

**Fotografía 33.** Zona III del perfil de meteorización en la zona del deslizamiento



**Fuente:** Autor



### 3.6 MECANISMO DE FALLA

La ocurrencia de una falla obedece a un proceso, el cual comprende una gran cantidad de factores, en el espacio y en el tiempo.

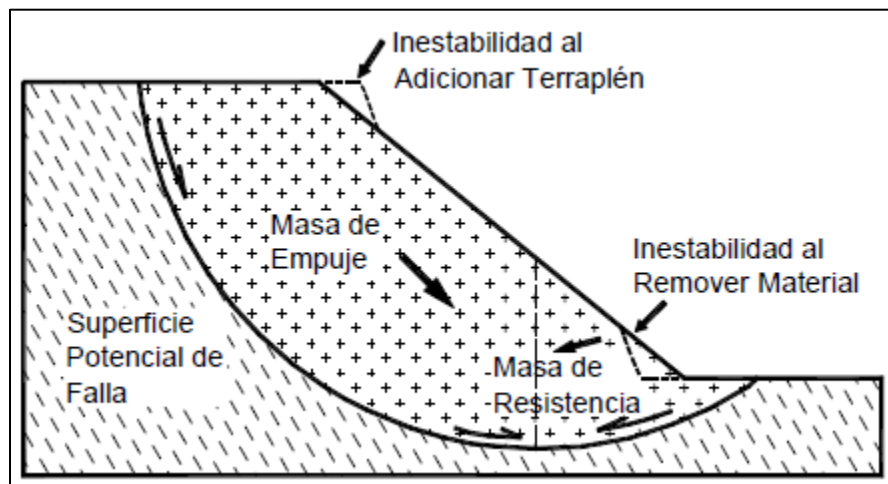
#### a) Condiciones Originales del Talud (Susceptibilidad)

Todo talud tiene unas propiedades o características físicas como son el relieve, geología, propiedades mecánicas de los materiales y perfiles, condiciones ambientales, cobertura vegetal, etc. Estas condiciones determinan una susceptibilidad al deterioro, a la acción de los factores detonantes y al fallamiento.

#### b) Equilibrio o Desequilibrio de Fuerzas (Factor de Seguridad)

En un talud estable hay un equilibrio entre las fuerzas actuantes y las fuerzas resistentes, entre las cuales es determinante la fuerza de gravedad. En la **Ilustración 38** se muestran las masas que tratan de producir el movimiento y las masas que tratan de contrarrestarla.

**Ilustración 38.** Equilibrio o desequilibrio de fuerzas de un talud.



**Fuente:** Deslizamientos, Análisis Geotécnico Tomo 1, Jaime Suarez Díaz.

Si se colocan cargas adicionales en la parte superior del talud o se remueven en el pie, se puede producir la inestabilidad de éste. Igualmente, la inestabilidad puede ocurrir por el aumento de la pendiente del talud.

#### c) El Deterioro (Modificación de las condiciones originales)

El deterioro comprende la alteración física y química de los materiales y su subsecuente desprendimiento o remoción. Esto incluye la alteración mineral, los

efectos de relajación y la abrasión. Los efectos del deterioro pueden ser lentos o rápidos y se acumulan hasta producir la falla en forma progresiva.

Cuando se corta un talud, para la construcción de una vía o de una obra de infraestructura, ocurre una relajación de los esfuerzos de confinamiento y una exposición al medio ambiente, cambiándose la posición de equilibrio por una de deterioro acelerado. La iniciación y propagación de fracturas es de significancia particular en la destrucción de la superficie que puede conducir a caídos de roca o colapso del talud.

El resultado del deterioro es una disminución en la resistencia al cortante del material, falla progresiva por expansión o fisuración, deformación al cortante, inclinación, desmoronamiento, etc. Igualmente se puede producir descomposición por desecación, reducción de la cohesión, lavado y remoción de los cementantes, disolución, erosión interna o sifonamiento. El deterioro, con el tiempo, da lugar a la necesidad de mantenimiento o construcción de obras de estabilización.

#### **d) Factores Detonantes (Activación del movimiento)**

En el fenómeno de detonación o activación de un deslizamiento, actúa una serie compleja de procesos, los cuales, ocasionalmente, se traslapan con los factores de deterioro. Los deslizamientos pueden activarse en forma instantánea o en forma progresiva. El resultado generalmente es un aumento en los esfuerzos de cortante. Estos esfuerzos aumentan a lo largo de la superficie de falla hasta que ocurre el movimiento.

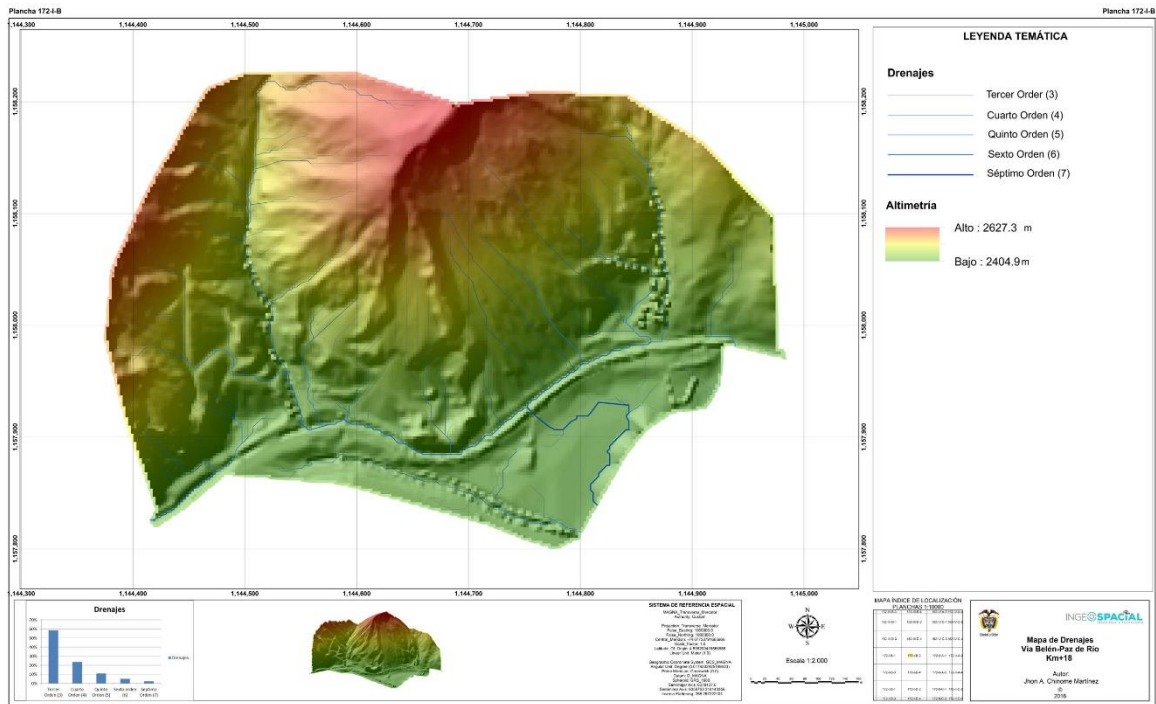
Los elementos externos más comunes que pueden generar la activación de un deslizamiento son los siguientes:

- Corte del soporte en el pie del talud por acción de la erosión o de actividades humanas, como la construcción de carreteras.
- Lluvias intensas o prolongadas y/o fluctuaciones fuertes del nivel de aguas subterráneas.
- Sismos o vibraciones fuertes.
- Colocación de cargas sobre el talud.
- Combinación de algunos de los elementos anteriores.

El factor detonante de la lluvia y sus efectos en el movimiento se analizan de mejor manera con el mapa de drenajes de la zona del deslizamiento el cual fue obtenido con ArcGis 10.3 y sus herramientas Flow Direction y Flow Accumulate para obtener la dirección de flujo de los drenajes y en cuales zonas existe una mayor acumulación de agua en el deslizamiento.



**Ilustración 39. Mapa de drenajes**

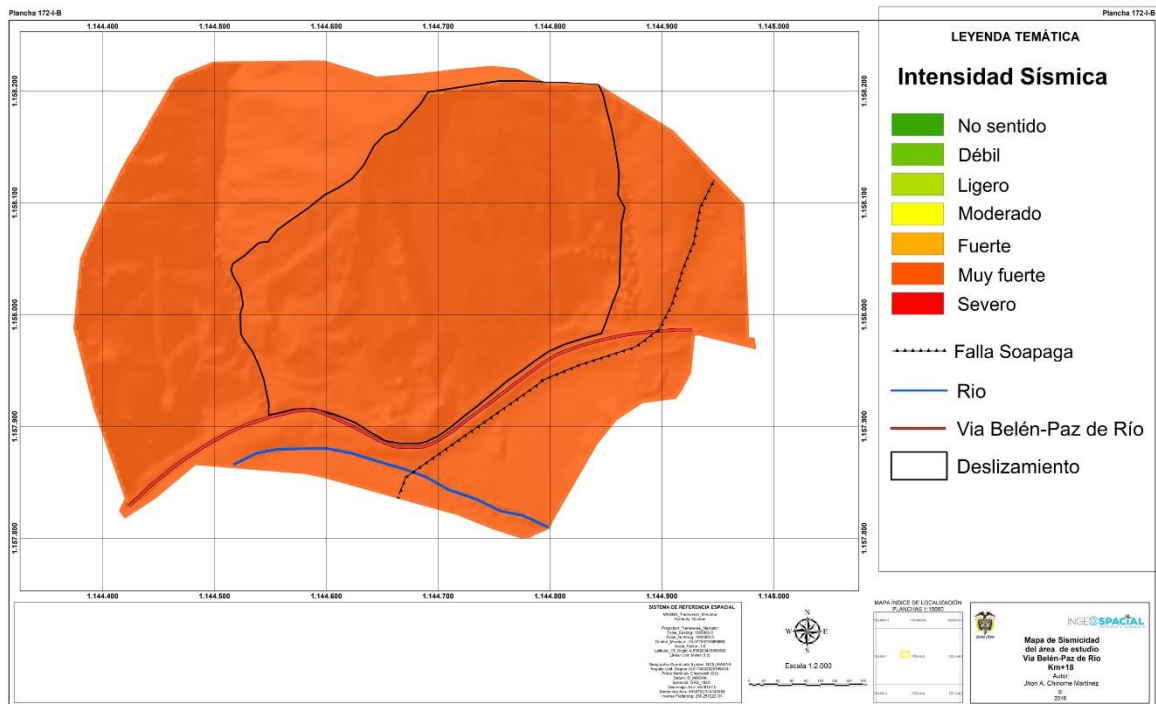


**Fuente:** Autor

Se observa que en la zona del deslizamiento pasa una gran cantidad de drenajes los cuales no están siendo captados por algún sistema de canales para que no afecten la parte inestable del deslizamiento y se están infiltrando lo cual hace que el agua afecte este movimiento y sea un factor detonante.

Otro factor detonante del cual se tiene información es el de la intensidad sísmica y el cual se observa en la **Ilustración 40**, según la clasificación dada por el Servicio Geológico Colombiano la zona del deslizamiento corresponde a una intensidad sísmica Muy fuerte esto debido a la presencia de la Falla de Soapaga ya que cuando ocurre un sismo en estas zonas se libera mayor cantidad de energía y genera temblores en áreas más grandes.

**Ilustración 40.** Mapa de Sismicidad en la zona de estudio



**Fuente:** Autor

### 3.7 ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO

La zona de estudio ubicada en el Km+18 de la Vía Belén-Paz de Río ha sido utilizada como cantera desde hace 40 años, esto es sabido por un testimonio dado por el dueño de una parte del terreno ya que este predio pertenece a varias personas, desde ese entonces se había explotado la cantera con métodos rudimentarios como picas y palas lo que no afectaba la estabilidad del talud, sumado a que el talud contaba con vegetación, árboles y pastos como se observa en la **Fotografía 34** los cuales cumplen un efecto muy importante ya que protegen contra la erosión y afectan los procesos de evapotranspiración y de infiltración del agua, también la vegetación cumple un efecto de estabilización por el esfuerzo del suelo (la acción de las raíces) y por la producción de materia orgánica la cual puede ayudar a cementar las partículas del suelo.

**Fotografía 34.** Vegetación en el talud del área de estudio



**Fuente:** Dueño del predio, 2013.

Con el ánimo de obtener información histórica del comportamiento de la zona previo al deslizamiento del 2015 se realizó una búsqueda de información mediante testimonios de los lugareños y sobre los cuales se extractan los siguientes eventos:

En el año 2013 uno de los dueños del predio obtiene la licencia por parte de la autoridad ambiental para la explotación de esta cantera e inmediatamente comienza a retirar los árboles y a hacer la quema de los pastos y la vegetación que había en el talud como se observa en las **Fotografías 35 y 36** haciendo que este perdiera estabilidad y fuera más susceptible a la erosión y a la infiltración de agua.



**Fotografía 35.** Tala de árboles en el talud



**Fuente:** Dueño del predio, 2013.

**Fotografía 36.** Quema de pastos en la zona del talud



**Fuente:** Dueño del predio, 2013.

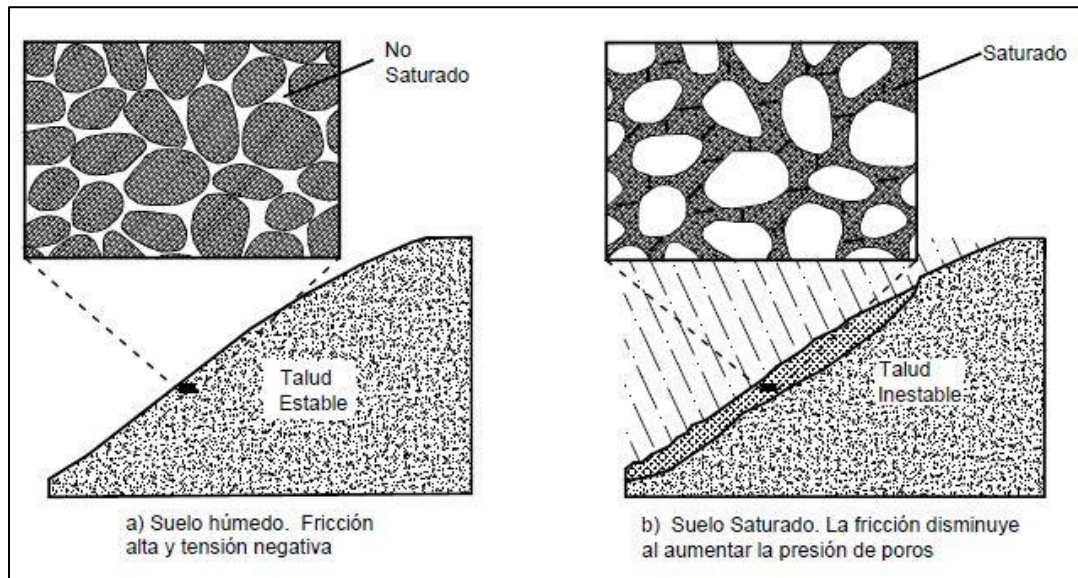


Luego de retirar la vegetación al encontrar bloques de Granito de gran tamaño los cuales por su dureza no podían fragmentar con maquinaria decide usar explosivos para retirar estos bloques, pero sin la asesoría necesaria para hacerlo de manera correcta y al realizar estas explosiones la vibración pudo haber causado un incremento en la presión de poros sobre el talud, ocasionando así la pérdida de resistencia friccional y también la licuación del suelo. Al retirar los bloques grandes que obstaculizaban el paso de la maquinaria se inició la explotación con retroexcavadora en la parte superior del talud, esta explotación se estuvo realizando por un año y ocho meses aproximadamente cuando el 27 de mayo uno de los dueños que vive en frente de la zona del deslizamiento observó que estaban ocurriendo desprendimientos de material de la parte media del talud en donde la maquinaria había realizado una excavación tan profunda que ya no se observaba la retroexcavadora desde la parte inferior como siempre; el día 29 de mayo uno de los dueños llama a la persona que tiene la licencia para que retire la maquinaria de la cantera dado que era inminente que ocurriera el deslizamiento, ese mismo día se retira la maquinaria del sitio y el sábado 30 de mayo de 2015 hacia el mediodía ocurre el deslizamiento taponando totalmente la vía durante 5 días hasta que fue removido todo el material.

Durante el mes de mayo del año 2015 el país tuvo la interacción entre la Zona de Confluencia Intertropical y un sistema de baja presión favoreciendo el desarrollo de precipitaciones de alta intensidad durante las horas de la tarde y la noche, como consecuencia la zona de estudio estuvo expuesta a las lluvias que se dieron de manera constante y al no contar con un sistema de recolección de aguas superficiales estas actuaron como detonante debido a los siguientes efectos:

- **Aumento del peso del suelo:** Los sedimentos tienen porosidades altas y cuando los vacíos se llenan de agua, el peso unitario aumenta considerablemente.
- **Disminución de la resistencia del agua absorbida:** Debido a las fuerzas electro químicas, el agua es absorbida fácilmente y se adhiere a los bordes y caras de las partículas causando la disminución de la resistencia.
- **Disolución:** El agua al fluir a través de los poros puede disolver los minerales que unen las partículas, disminuyendo la resistencia y haciendo más fácil el colapso.
- **Erosión interna:** El agua al fluir puede generar pequeñas cavernas, las cuales pueden inducir a la falla.
- **Presión de poros:** La presión se aumenta en el agua de los poros, disminuyendo la resistencia a la fricción, según se explica en la **Ilustración 41** (Criterio de Coulomb).

**Ilustración 41.** La saturación del perfil de suelo puede activar el deslizamiento



**Fuente:** Deslizamientos, Análisis Geotécnico Tomo 1, Jaime Suarez Díaz.

Estos efectos sumados a la ausencia de manejo de aguas superficiales y subsuperficiales, el uso de explosivos, el retiro de la vegetación y las excavaciones hechas en la parte media del talud hicieron que ocurriera el deslizamiento, siendo el proceso antrópico la principal causa de este movimiento en masa.

En la **Fotografía 37** se observa una simulación realizada con el fin de apreciar cómo quedó la zona cuando ocurrió el deslizamiento y los efectos del mismo.

**Fotografía 37.** Simulación del deslizamiento en la zona de estudio



**Fuente:** Ingeospacial. Edición realizada por el autor.

## CONCLUSIONES

- En el área del deslizamiento se encuentran tres formaciones geológicas, la Formación Cataclasitas de Soapaga (Dc?s), Formación Concentración (Pgc) y la Formación Girón (Jg), siendo la de mayor importancia las Cataclasitas de Soapaga ya que es la formación que está presente en el deslizamiento y la componen un conjunto de granitos brechados con una alta dureza, muy fracturados y meteorizados lo cual hace que esta formación sea susceptible a movimientos en masa que afectan la vía Belén-Paz de Río en la zona del Km+18.
- El suelo presente en el deslizamiento es de tipo residual areno arcilloso de la Formación Cataclasitas de Soapaga (Dc?s); debido a que la pendiente del talud es alta, el perfil de meteorización es poco profundo y su material es más granular que arcilloso.
- La presencia de la Falla de Soapaga en el costado derecho del deslizamiento produce una zona de debilidad de varios metros a lado y lado formando superficies débiles muy peligrosas, haciendo que la zona sea susceptible a los movimientos tectónicos y a los sismos provocando una reactivación del movimiento o la ocurrencia de un nuevo deslizamiento.
- El ambiente geomorfológico que predomina en la zona de estudio es el Denudacional haciendo que las rocas sean atacadas por procesos intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional.
- El deslizamiento se ha clasificado como un deslizamiento traslacional con dirección N-S, una longitud de 361 m y una distancia de la corona al pie del deslizamiento de 316 m y a la fecha de la evaluación el deslizamiento se encuentra suspendido.
- La ocurrencia de la falla del talud obedece a un proceso, el cual comprende unos factores en el espacio y el tiempo en donde cambiaron las condiciones originales del talud; debido a la actividad antrópica ocurrió un desequilibrio de las fuerzas del talud y una relajación de los esfuerzos de confinamiento, por la alteración física y química de los materiales causando deterioro en el material y como resultado una disminución en la resistencia al cortante del material y su posterior falla, siendo los factores detonantes los que activan el movimiento actuando de forma instantánea o en forma progresiva.
- Los factores detonantes que influyeron en la actividad del deslizamiento están relacionados con modificaciones antrópicas y son: 1) Retiro de la vegetación existente haciendo que el talud perdiera estabilidad y fuera más susceptible a la erosión y a la infiltración de agua, 2) Las vibraciones provocadas por los explosivos utilizados para fragmentar bloques grandes de roca, 3) Ausencia del manejo de aguas superficiales y subsuperficiales haciendo que el talud sufriera efectos como aumento del peso del suelo, disminución de la resistencia del agua absorbida,



disolución, erosión interna y presión de poros haciendo que el talud perdiera estabilidad, 4) Las excavaciones realizadas en la parte media del talud causando pérdida de confinamiento y su posterior falla provocando el deslizamiento.

-Las tecnologías UAV fueron muy beneficiosas para la realización de este proyecto ya que proporcionan vistas, ángulos e imágenes del terreno únicas que son de gran ayuda a la hora de hacer la interpretación geológica, geomorfológica y geotécnica debido a su gran calidad, enriqueciendo de gran manera el material gráfico y el resultado final del proyecto, además de esto reduce los costos considerablemente si se compara con las imágenes satelitales o capturadas con aviones las cuales son usadas comúnmente; también se destaca la rapidez con la que son obtenidas ya que están disponibles el mismo día que son tomadas en campo y listas para su procesamiento el cual también se hace de manera rápida con muy buenos resultados.

- El deslizamiento inactivo genera una amenaza alta por movimientos en masa en el Km+18 de la vía Belén-Paz de Río debido a que este se puede reactivar si los factores detonantes siguen actuando y no se toman medidas necesarias para remediarlos o mitigarlos.

## RECOMENDACIONES

- Las acciones que se proponen aquí están relacionadas con el manejo integral del talud. Estas acciones deben ser estudiadas y complementadas por especialistas de diferentes disciplinas, ya que involucra la reforestación de toda la ladera, el manejo de escorrentía, obras para el control de la erosión y obras de contención.
- Se debe prevenir y controlar la erosión con prácticas culturales como la empradización y reforestación ya que según V. Muñoz (1978) “la erosión pluvial producida por el golpe de las gotas de lluvia se puede controlar simplemente con el mantenimiento de buenas coberturas vegetales”.
- Se debe dar un manejo adecuado de las aguas de escorrentía con la construcción de zanjas o canales para interceptar la escorrentía en la parte alta del talud y en toda el área perimetral del deslizamiento para redireccionar el agua de escorrentía y así impedir que el agua llegue a la zona inestable.
- Se recomienda evitar las practicas mineras que se realizaron y que causan inestabilidad en el talud.
- Se requiere conocer las propiedades geomecánicas de las rocas bajo superficie mediante métodos directos como las perforaciones o métodos indirectos como la geofísica.
- Se recomienda la asesoría de un geotecnista para que evalúe cual es la obra de contención más apropiada para este deslizamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABRIL G, Nebardo. Estabilidad de Taludes. Notas de Clase, UPTC Seccional Sogamoso Escuela de Ingeniería Geológica, Sogamoso, 2013.
- CARVAJAL, José Henry. Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza Relativa por Movimientos en Masa escala 1:100.000, INGEOMINAS, Bogotá D. C. Agosto de 2013.
- CARVAJAL, José Henry. Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza Relativa por Movimientos en Masa escala 1:100.000, VERSIÓN No. 2, Bogotá D. C, Agosto de 2013.
- COOPER, R.G. Mass Movements in Great Britain, Geological Conservation Review Series, No. 33, Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, 2007.
- DURY, Robin. Progressive Landslides Analysis, Applications of a Finite Difference Method by Dr. Stig Bernander Case Study of the North Spur at Muskrat Falls, Labrador, Canada, Luleå University of Technology, 2017.
- HERNÁNDEZ B, Pedro. Principios Básicos de Geomorfología, Unidades Geomorfológicas. Universidad Nacional de Colombia. 2001.
- HIGHLAND, Lynn. Landslide Types and Processes. U.S. Geological Survey. July, 2004.
- INFORMACIÓN GENERAL 2016. Sitio oficial de Paz de Rio en Boyacá, Colombia. Recuperado de <http://www.pazderio-boyaca.gov.co>.
- INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Manual de Estabilidad de Taludes. Geotecnia Vial, INVIAS, Santafé de Bogotá, D.C., 1998.
- REYES CH, Italo. Geología de la región de Duitama-Sogamoso-Paz de Rio, Departamento de Boyacá, Belencito, 1984.
- SCHEIDEGGER, Adrián E. La conexión de algunos rasgos geológicos y geomorfológicos con la tectónica. Geología Colombiana.
- SUAREZ D, JAIME. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales, Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Bucaramanga, 1998.
- SUAREZ D, JAIME. Deslizamientos. Análisis Geotécnico. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2009.
- SUAREZ D, JAIME. Deslizamientos. Técnicas de Remediación. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2009.
- ULLOA C, RODRÍGUEZ E, RODRÍGUEZ G. Geología de la Plancha 172 Paz de Rio, escala 1:100.000, Memoria Explicativa, INGEOMINAS, Bogotá, D.C, 2001.

- ULLOA C, RODRÍGUEZ E, RODRÍGUEZ G. Mapa Geológico de la Plancha 172 Paz de Rio, escala 1:100.000, INGEOMINAS, Bogotá, D.C, 2001.



## 106

[illegible]

